

На правах рукописи

УДК 556.55(574)

Жумангалиева Зария Маратовна

ОЗЕРНЫЙ ФОНД КАЗАХСТАНА

Специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург - 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ).

Научный руководитель:

Мякишева Наталия Вячеславовна

доктор географических наук, профессор,
профессор кафедры гидрологии суши
Российского государственного
гидрометеорологического университета

Официальные оппоненты:

Субетто Дмитрий Александрович

доктор географических наук, профессор,
директор Института водных проблем Севера
КарНЦ РАН, заведующий кафедрой физической
географии и природопользования Российского
государственного педагогического
университета им. А.И. Герцена

Дмитриев Василий Васильевич

доктор географических наук, профессор,
заведующий НИЛ «Моделирования и
диагностики геосистем», профессор кафедры
гидрологии суши Института наук о Земле Санкт-
Петербургского государственного университета

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт озераедения
Российской академии наук

Защита состоится « » 2015 года в ____ часов ____ минут на заседании
диссертационного совета Д212.197.02 в Российском государственном
гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский
пр., 68.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного
гидрометеорологического университета или по адресу www.rshu.ru/university/dissertations/

Автореферат диссертации разослан « » 2015 года.

Ученый секретарь диссертационного совета



В.Н. Воробьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Казахстан, являясь девятой по площади территорий 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 0.04 км³ 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 представляет собой водоем замедленного водообмена, а в исследуемой аридной области является также конечным звеном гидрографической сети, которое очень чутко реагирует на изменения окружающей среды. Колебания увлажненности территории, равно как хозяйственная деятельность являются причинами изменений размеров озер во времени, что выражается в колебаниях лимнологических характеристик, определяющих гидрологический режим водоемов.

На территории 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.

Цель работы. Оценить 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. Проанализировать распределение основных морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана.
3. Выявить соотношения между морфометрическими характеристиками естественных озер Казахстана различного генезиса.
4. Оценить «суммарные» и «удельные» 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 характеристики естественных озер 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), осадков (P , мм), модуля стока (M), 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 получены функциональные зависимости распределения размерных (площади озер A и озерных водосборов F , объемы озер V , соленость s и др.) и безразмерных (удельный водосбор F/A , показатель изрезанности береговой линии S_d , коэффициенты удлиненности) морфометрических и гидрохимических характеристик.
2. 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 соотношении 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.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Исследование распределения морфометрических, гидроэкологических и гидрохимических параметров озерного фонда Казахстана является частной задачей гидрологии суши и водных ресурсов, решаемой с целью изучения водных объектов суши, а также разработки методов оценки и расчета гидрологических и гидрохимических характеристик. Результаты работы соответствуют паспорту специальности «25.00.27 Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» по следующим пунктам:

1) Теоретические и методологические основы гидрологии, гидрографии, речного стока, лимнологии, русловых и устьевых процессов, гидрохимии, гидроэкологии.

3) Проблемы региональной гидрологии, подобия и различия водосборных территорий по условиям формирования речного стока, генезиса составляющих стока, физической и схоластической природы колебаний водности рек, пространственно-временной изменчивости региональных и местных водных ресурсов.

4) Особенности гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов в озерах и водохранилищах, динамические явления в озерах, водохранилищах и прудах, генезис и трансформация состояния водных масс, проблемы лимнологического

моделирования внутриводоемных явлений, гидроэкологической оптимизации режима водоемов суши.

Личный вклад автора. Все результаты, представленные в диссертационной работе, получены самостоятельно или при непосредственном участии автора в коллективе соавторов. В опубликованных в соавторстве работах, автору принадлежит участие в постановке и реализации задачи, обработке и анализе результатов расчетов.

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), на заседании комиссии гидрологии Санкт-Петербургского и Ленинградского отделений Русского географического общества (Санкт-Петербургское отделение РГО, январь, 2015).

Деятельность автора при подготовке диссертационного исследования была отмечена стипендией Неправительственного экологического фонда имени Владимира Ивановича Вернадского 2014 года», а также грантом Правительства Санкт-Петербурга по результатам «Конкурса грантов 2014 года для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и научных институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга».

Публикации. Основные результаты по теме диссертации представлены в 8 работах, из них 3 статьи опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, 5 статей в трудах международных и российских конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений на 28 листах, изложена на 159 страницах, включает 70 рисунков, 16 таблиц и библиографию из 152 наименований.

Благодарности. Автор благодарит за всестороннюю поддержку и конструктивные замечания научного руководителя профессора Мякишеву Наталию Вячеславовну, профессора Догановского Аркадия Михайловича, коллектив кафедры гидрологии суши РГГМУ, профессора Рянжина Сергея Валентиновича, профессора Института Географии Республики Казахстан Достая Жакыпбая Достаевича и профессора КазНИИРХ Горюнову Антонину Ивановну.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** дается обоснование актуальности темы исследования, излагаются цели и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** приводятся общие сведения об объектах исследования – озерах Казахстана: описываются условия происхождения озер, состояние изученности. На основе данных из лимнологической базы WORLDLAKE по 3380 естественным озерам Казахстана (ЕОК) приводится общая характеристика озер. В первой главе также анализируется состояние климата и увлажненности территории Казахстана: исследуются многолетние колебания характеристик климата и увлажненности – значения температуры и количества осадков, индекса Де-Мартона для метеорологических станций шести водохозяйственных бассейнов – Атбасар, Костанай, Караганды, Уральск, Балхаш, Зайсан.

Во **второй главе** исследуются особенности морфометрических и гидрохимических характеристик 3380 ЕОК, собранных в глобальной лимнологической базе данных WORLDLAKE. Производится оценка распределения морфометрических характеристик озер, выявляются соотношения между различными морфометрическими характеристиками в зависимости от происхождения и генезиса (значений показателя формы озерной котловины и значения отметок абсолютных высот). В этой главе также производится оценка распределения гидрохимических характеристик, выявляются соотношения между различными морфометрическими характеристиками озер с различной степенью минерализации.

В **третьей главе** дана многокритериальная классификация озер по условиям формирования их внешнего водообмена, где был исследован внешний водообмен озер Северного Казахстана на основе рассчитанных коэффициентов внешнего водообмена. Также были введены индексы внешнего водообмена озер, изложена методика их построения в

условиях неопределенности расстановки приоритетов оценивания, выполнено районирование территории по рассчитанным морфометрическому и климатическому индексам внешнего водообмена. В этой главе приведена разработанная автором многокритериальная классификация озер Северного Казахстана по условиям формирования внешнего водообмена.

В четвертой главе по данным экологического мониторинга озер Щучинско-Боровской курортной зоны (Боровое, Щучье, Большое Чебачье) за период с 2002 по 2010 гг. производится многокритериальная оценка качества вод.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Почти вся территория Казахстана является бессточной областью земного шара, охватывающей внутреннее пространства Азии, где только север ее относится к бассейну Северного Ледовитого океана.

Несмотря на это, в Казахстане насчитывается более 48000 (Муравлев, 1973) естественных озер, из которых более 45000 условно относятся к «малым» и 21 к «большим» с площадями водной поверхности $A \leq 1 \text{ км}^2$ и $A \geq 100 \text{ км}^2$ соответственно.

Из-за значительной сезонной и межгодовой изменчивости климатических условий и в частности увлажненности, у большинства озер наблюдаются заметные колебания морфометрических характеристик и лимнологического режима. Многие озера являются пересыхающими. Качество озерных вод непостоянно в течение года.

Ниже приведены особенности распространения естественных озер Казахстана на основе сведений из базы WORLDLAKE.

Разнообразие рельефа и условий увлажненности обуславливает неравномерность распределения ЕОК. Сравнительно мало озер в западных и восточных пустынных районах, гораздо больше их на севере и в горах. Озера отделены друг от друга сотнями километров или могут быть расположены так густо, что образуют озерные области. На Северный Казахстан приходится 45% озер, на Центральный и Южный – 36%, на другие регионы – 19% (рисунок 1а).

Большее половины ЕОК (1960 или 58% рассматриваемых озер) расположено в Костанайской, Акмолинской и Павлодарской областях (рисунок 1б). Значительное число ЕОК сосредоточено в Северо-Казахстанской и Актюбинской областях: 330 (10%) и 242 (7%) озера соответственно. При этом озера почти отсутствуют в Мангистауской и Южно-Казахстанской областях (21 озеро, <1%).

Распределение озер по высоте для 3058 (90%) озер (рисунок 2а) показывает, что 0.2% и 2.6% (6 и 88 озер) всех ЕОК расположены в горах на $Z > 2000 \text{ м}$ и ниже уровня моря

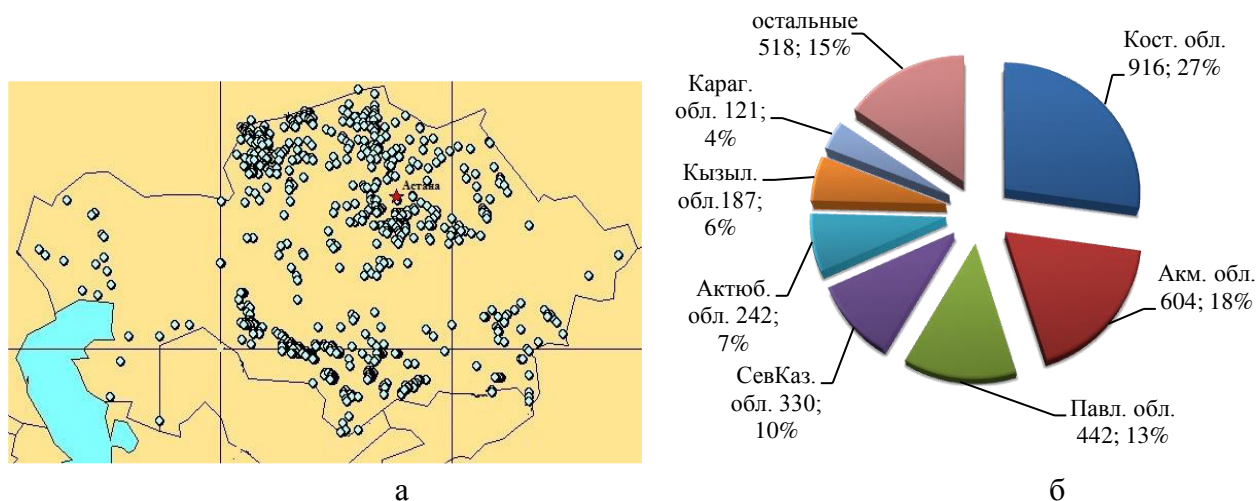


Рисунок 1. Географическое (а) и административное (б) распределение озер Казахстана

соответственно. Большинство первых располагается на юго-востоке, а вторых - на востоке Казахстана. При этом подавляющее большинство ЕОК (2785 озер или 82%) лежит на высотах 0-400 м, а при $Z > 400$ м число ЕОК быстро убывает с ростом значений высоты озер над уровнем моря.

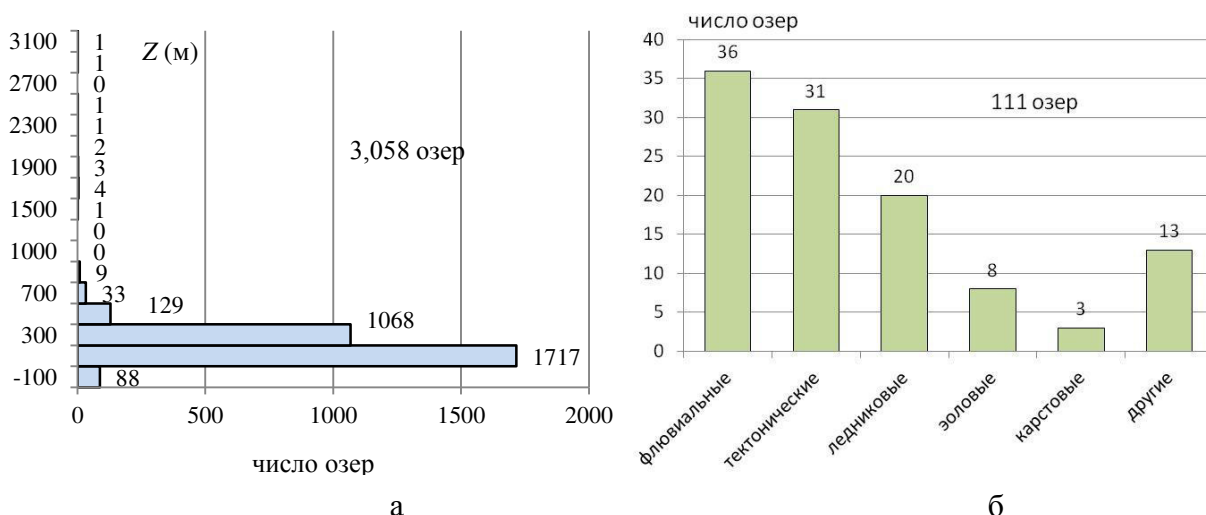


Рисунок 2. Распределение озер по высоте над уровнем моря (а) и генезису котловин (б)

Среди 111 ЕОК с установленным генезисом котловин преобладают флювиальные, тектонические и ледниковые (87 озер или 78%) (рисунок 2б). Присутствуют карстовые и эоловые озера. К категории «другие» отнесены озера смешанного генезиса: ледниково-тектонические, флювиально-ледниковые и др. Среди флювиальных озер доминируют старицы.

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 которым относятся пресноводные высокогорные озера.

Особенности морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана.

На основании натуральных данных (из базы WORLDLAKE) в разной степени изученных 3 380 озер Казахстана были построены статистические функции распределения 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 $C1=h_a/h_m$) морфометрических характеристик. В таблице 1 приведены данные по количеству использованных для расчета озер, диапазоны значений морфометрических характеристик и значения коэффициентов степенных зависимостей вида (1) – (4).

Таблица 1 – Исследуемые характеристики озер и значения рассчитанных коэффициентов

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

На рисунках 3 – 5 приведены графики распределения значений морфометрических характеристик, построенные в логарифмических координатах, соответствующие полученным зависимостям.

В результате анализа распределения озер Казахстана по площадям (с размерами от 1 км² до 16400 км² для озера Балхаш) была построена зависимость вида (1), где N представляет собой общее число озер с площадью не меньше A .

$$N(A \geq A_i) = C_1 \cdot A^{C_2}, \text{ при } A=1.0-1.64 \cdot 10^4 \text{ км}^2 \quad (1)$$

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

Данная степенная функция показывает, что число озер Казахстана быстро возрастает с уменьшением значения площади озера. Из этой функции можно определить, какое количество озер должно быть со значением площади не меньше A .

Аналогичные степенные зависимости, различающиеся только эмпирическими коэффициентами, были получены для других морфометрических характеристик озер.

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

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

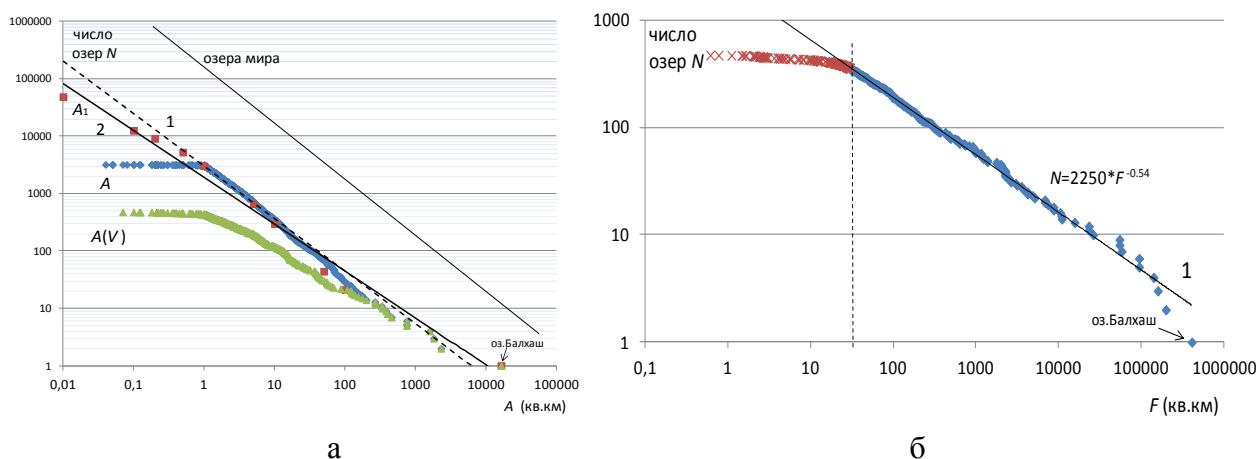


Рисунок 3. Оценки площадных морфометрических характеристик озер Казахстана:
 а) Интегральные распределения A , $A(V)$ – для «батиметрически» измеренных озер;
 б) Интегральное распределение водосборов озер F : пунктир - нижняя граница диапазона для аппроксимирующего распределения

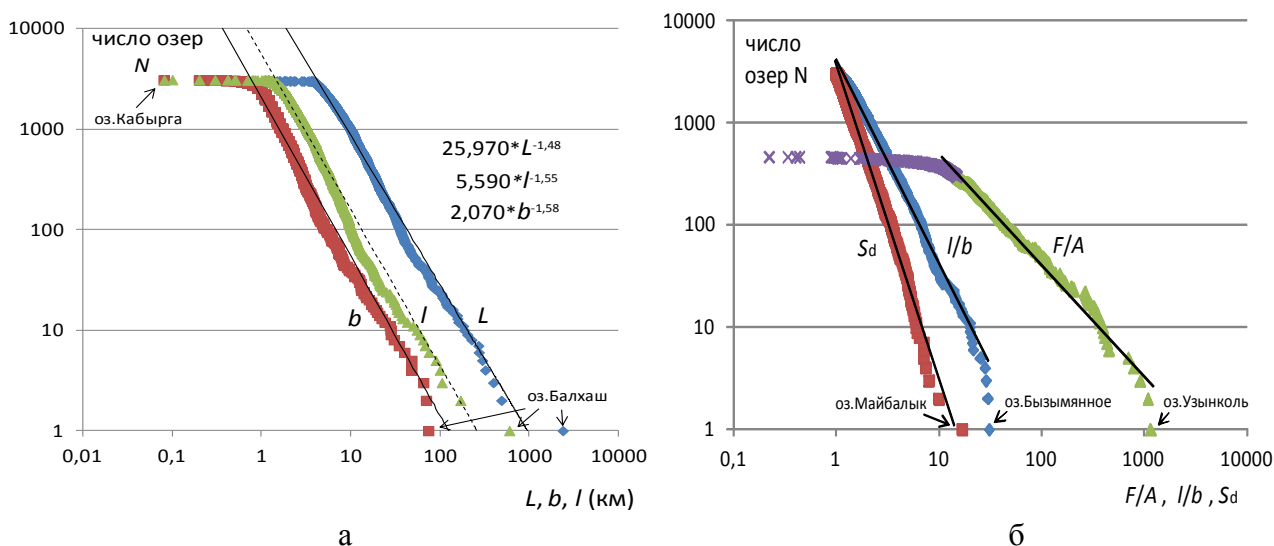


Рисунок 4. Оценки морфометрических характеристик озер Казахстана: а) Интегральные распределения длины береговой линии L , максимальных длины l и ширины b озера. б) Интегральные распределения безразмерных характеристик: удельного водосбора F/A , показателя удлиненности озера l/b , и показателя изрезанности береговой линии S_d ; кривые – аппроксимирующие степенные распределения

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

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

Актуальным в практическом применении является выявление зависимостей V от A , особенно для неизученных озер. Определение объемов озер посредством батиметрических съемок экономически затратно по сравнению с определением площадей озер, которые возможно получить в результате дистанционных съемок. По данным 475 озер была получена степенная зависимость вида

$$V = C_1 \cdot A^{C_2}, \quad (4)$$

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

Регрессия (4) близка к регрессии с коэффициентами $C_1=3.4 \cdot 10^{-3}$, $C_2=1.13$, рассчитанной С.В. Рянжиным (2005) для 15588 озер мира (рисунок 5б).

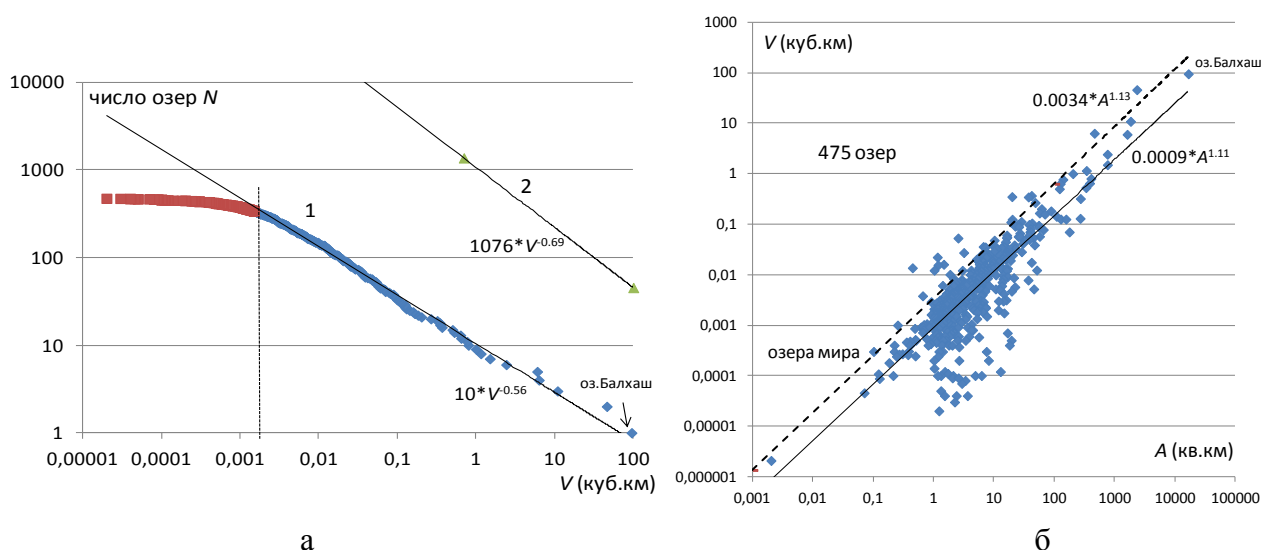


Рисунок 5. Оценки распределения объемов V озер Казахстана: а) Интегральные распределения: 1 – 339 озер Казахстана в диапазоне значений $1.5 \cdot 10^{-3}$ - 95 км^3 (пунктир – нижняя граница диапазона); 2 – 838 «крупнейших» (с площадью $A \geq 50 \text{ км}^2$) озер мира. б) Зависимость объема V от площади A

При использовании вышеуказанных зависимостей были получены суммарные площадь A_s и объем V_s озер Казахстана, которые сравнены с оценками для других регионов. «Суммарная» площадь оценена как $A_s=4.38 \cdot 10^4 \text{ км}^2$ - сумма площадей рассмотренных 3380 ЕОК (таблица 2). Эта оценка близка к оценке $4.50 \cdot 10^4 \text{ км}^2$ (Никитин, 1987; Филонец, Омаров, 1973, 1974). Таким образом, A_s ЕОК составляет $\sim 1.6\%$ от $2.69 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ – «суммарной» площади естественных озер мира по (Рянжин, 2005, 2005а; Ryanzhin, 2003, 2006). При этом A_s ЕОК почти в 12 раз превосходит суммарную площадь польских озер и только в 2 раза меньше суммарной площади озер Китая (таблица 2). С учетом площади Казахстана ($T=2.725 \cdot 10^6 \text{ км}^2$) коэффициент озерности территории $R=A_s/T=1.6\%$, что близко к глобальной средней оценке 1.8% (Рянжин, 2005, 2005а; Ryanzhin, 2003, 2006) или средней озерности

России 1.5%, но значительно уступает коэффициенту озерности российской Карелии, равному 10.4% (таблица 2).

«Суммарный» объем озер Казахстана, рассчитанный как сумма 475 батиметрически измеренных озер (без Каспийского и Аральского морей), можно оценить как $V_s=181.9 \text{ км}^3$ (таблица 2), что согласуется с оценкой 190 км^3 из (Филонец, Омаров, 1973, 1974). 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 (Рянжин, 2005, 2005a; Ryanzhin, 2003, 2006).

Таблица 2 – «Суммарные» и «удельные» озерные оценки для Казахстана и некоторых территорий (данные по Карелии приведены без Ладожского и Онежского озер, данные по России приведены без Каспийского моря, данные по Казахстану приведены без Каспийского и Аральского морей)

Территория	Площадь T , км ²	Население P , чел.	Озера		Коэфф-т 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, 2005a
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, 2005a
Казахстан	$2.725 \cdot 10^6$	$17.0 \cdot 10^6$	$4.38 \cdot 10^4$	181.9	1.6	$2.57 \cdot 10^3$	$1.07 \cdot 10^4$	

Как видно из таблицы 2, 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 среднее значение, но и соответствующие оценки для таких стран как Китай, Польша, Беларусь и др. В свою очередь, значение «удельного» объема ЕОК $V_s/P=1.07 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{чел}$ значительно превосходит аналогичные оценки для Польши и Беларуси, но значительно меньше оценки для России.

Для получения зависимостей объема озера от площади его поверхности для групп озер различного генезиса (характерными чертами которого являются отметка абсолютной высоты озера Z и показатель формы озерной котловины CI) были построены логарифмические зависимости $lg(V+1) = f(lg(A+1))$. Этому предшествовала выборка озер по V , A и Z , а также производилась выборка озер по V , A , Z и CI (таблица 3).

Таблица 3 – Зависимость объема озера от площади его поверхности

Абсолютная высота Z , показатель формы котловины CI	Зависимость объема озера V от площади водной поверхности A $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$	R^2
<u>Выборка (а)</u> $Z < 200$ м $Z = 200 - 400$ м $Z > 400$ м $Z > 300$ м	<u>Вариант 1</u>	
	$y = 0,049x^3 - 0,122x^2 + 0,0938x - 0,018$	0,98
	$y = 0,031x^4 - 0,119x^3 + 0,175x^2 - 0,097x + 0,018$	0,99
	$y = 0,0003e^{2,8761x}$	0,66
	$y = 0,024x^3 + 0,046x^2 - 0,112x + 0,042$	0,93
<u>Выборка (б)</u> $Z < 300$ м $Z = 300 - 600$ м $Z > 600$ м	<u>Вариант 2</u>	
	$y = 0,0491x^3 - 0,1227x^2 + 0,0969x - 0,0197$	0,98
	$y = 0,0388x^3 - 0,0642x^2 + 0,0361x - 0,0046$	0,98
	$y = 0,0005 e^{2,6941x}$	0,61
<u>Выборка (б)</u> $Z < 300$ м $CI = 0 - 0,33$	<u>Вариант 3</u>	
	$y = 0,008x^4 + 0,001x^3 - 0,062x^2 + 0,074x - 0,02$	0,99
$Z < 300$ м $CI = 0,33 - 0,66$	$y = -0,001x^4 + 0,049 x^3 - 0,096x^2 + 0,058x - 0,009$	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

Результаты расчетов показали, что для озер Казахстана в большинстве случаев зависимость объема озера от его площади достаточно хорошо аппроксимируется полиномиальной кривой 3-ей степени (рисунок 6а) или 4-ой степени. Значения коэффициента детерминации R^2 достигают своих предельных величин. В редких случаях искомая зависимость описывается экспоненциальной кривой. Это относится к озерам с $Z > 600$ м: Маркаколь, Карасор, Балыктыколь, Катынколь, Шалкарколь и др.

Несомненный интерес представляет получение зависимостей A от F (таблица 4). Это особенно актуально для Казахстана, где как водосборные площади, так и площади озер год от года не остаются постоянными.

Таблица 4 – 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

Для получения зависимости $lg(A+1) = f(lg(F+1))$ была сформирована выборка озер по A, F, Z и показателю формы котловины C_1 .

Для большинства озер Казахстана полученные зависимости достаточно хорошо аппроксимируются полиномиальной кривой 2-ой степени (рисунок 6б). Для озер, расположенных ниже 300 м с показателем формы котловины $C_1 = 0.66-1.0$ искомая зависимость лучше описывается степенной функцией.

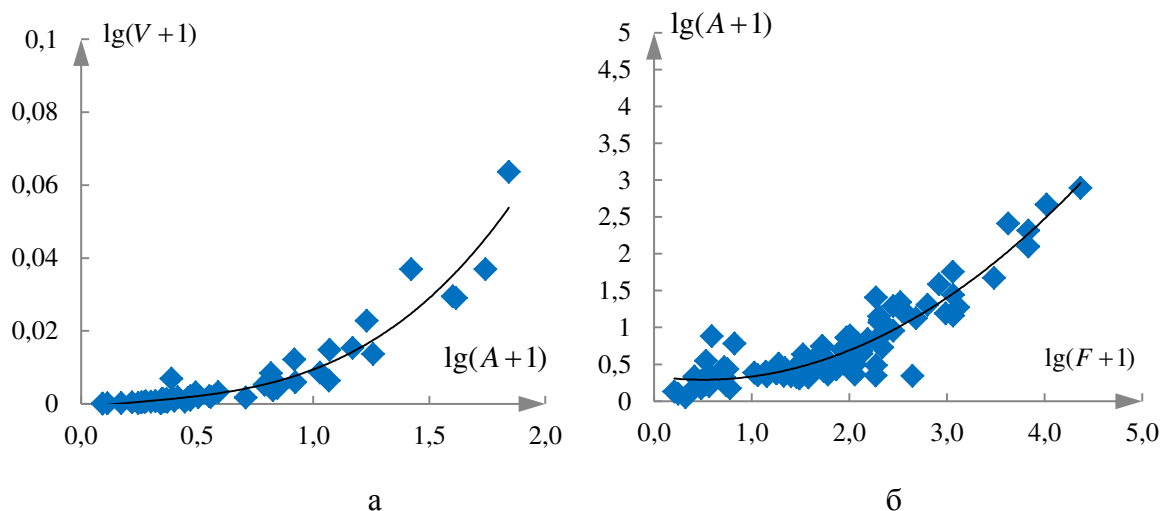
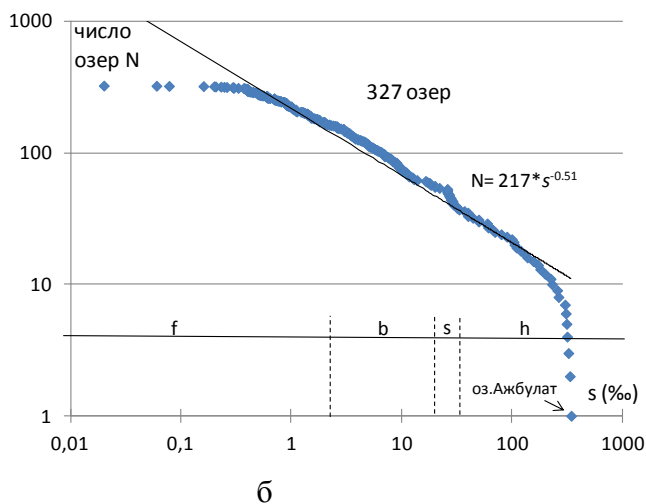
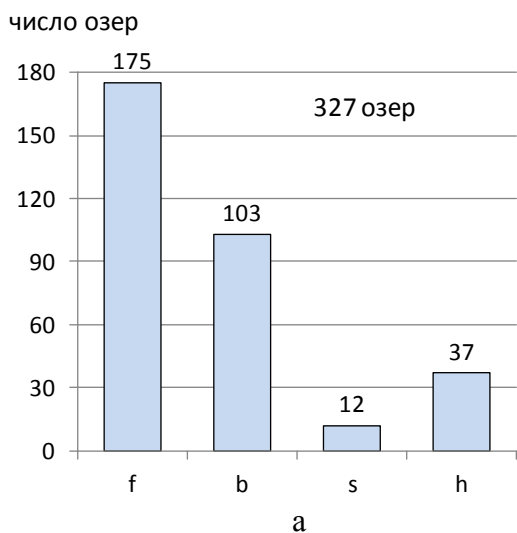


Рисунок 6. Зависимости объема озера от его площади при $Z < 300$ м, $C_1 = 0.66-1.0$ (а), площади поверхности озера от площади его водосбора при $Z < 300$ м, $C_1 = 0.33-0.66$ (б)

Оценка распределения гидрохимических характеристик

На рисунках 7а, 7б показаны статистические распределения озер по качественным категориям и числовым значениям солености s (f, b, s, h – пресноводные, солоноватые, соленые и гиперсоленые соответственно по типизации (Williams 1996, 1998) для измеренных в 327 ЕОК (10% всех рассматриваемых).



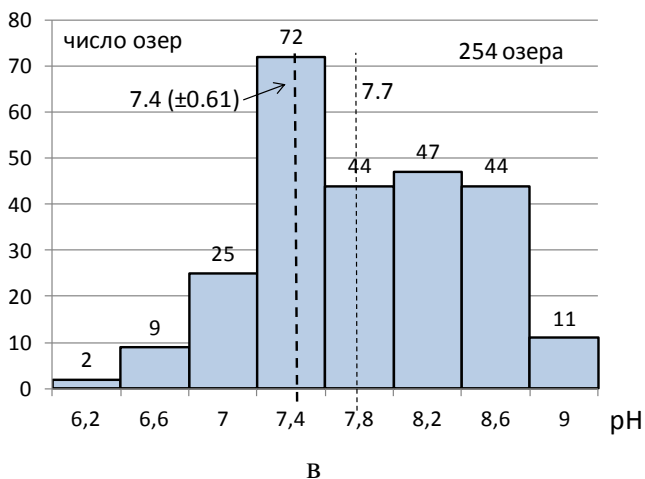


Рисунок 7. Распределения значений солености s и рН в 327 и 254 озерах Казахстана соответственно:
 а) распределение солености s по качественным категориям;
 б) интегральное распределение численных значений s ; в) гистограмма значений рН

Отчетливо видно (рисунок 7а), что на фоне сравнительно небольшого числа соленых (12 озер, 3.7%) и гиперсоленых озер (37 озер, 11.3%) преобладание пресноводных (175 озер, 53.5%) и солоноватых (103 озера, 31.5%). При этом 31 озеро с $s > 50\%$ можно отнести к рапе. Интегральное статистическое распределение (рисунок 7б) показывает, что в широком диапазоне $s = 0.5 - 120\%$, целиком перекрывающем солоноватые и соленые озера, удовлетворительно описывается степенным распределением вида (5):

$$N(s \geq s_i) = C_1 \cdot s^{C_2}, \text{ при } s = 0.5 - 120\%, \quad (5)$$

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

Измерения значений рН проводились в 254 ЕОК (8% всех озер). Гистограмма рН со средним значением 7.7, среднеквадратическим отклонением 0.61, модой 7.4, эксцессом -0.65 и асимметрией 0.21 (рисунок 7в) близка к нормальной и указывает на преобладание озер со значениями рН близкими к нейтральным.

Внешний водообмен озер зоны недостаточного увлажнения

В качестве гидрологической характеристики озер выбран внешний водообмен, который является показателем длительности пребывания в котловине поступившей воды. Скорость обмена водной массы (интенсивность водообмена) влияет на гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режим водоема.

Для 129 озер Северного Казахстана рассчитаны три набора коэффициентов внешнего водообмена озер: по притоку $K_{В пр}$, по притоку и осадкам $K_{В пр+х}$, по испарению $K_{В е}$. При расчете коэффициентов значения модуля стока, испарения и осадков, отнесенные к центрам тяжести озерных водосборов, снимались с карт Атласа мирового водного баланса (Мировой водный баланс, 1974). При этом центры тяжести озерных водосборов определялись с учетом

поправок на бессточные понижения. Средние многолетние значения модуля стока корректировались с учетом поправок на редуцию.

В соответствии с классификацией Богословского (1984) преобладающее число озер является аккумулятивными (рисунок 7). При этом на долю озер с замедленным водообменом (класс А1; $0,3 < K_B < 1,0$) приходится около 30 %, на долю озер с малым водообменом (класс А2; $0,1 < K_B < 0,3$) – около 60 %. Аккумулятивно-транзитные среднепроточные (класс АТ1) и слабопроточные (класс АТ2) озера встречаются только в 2 % случаев.

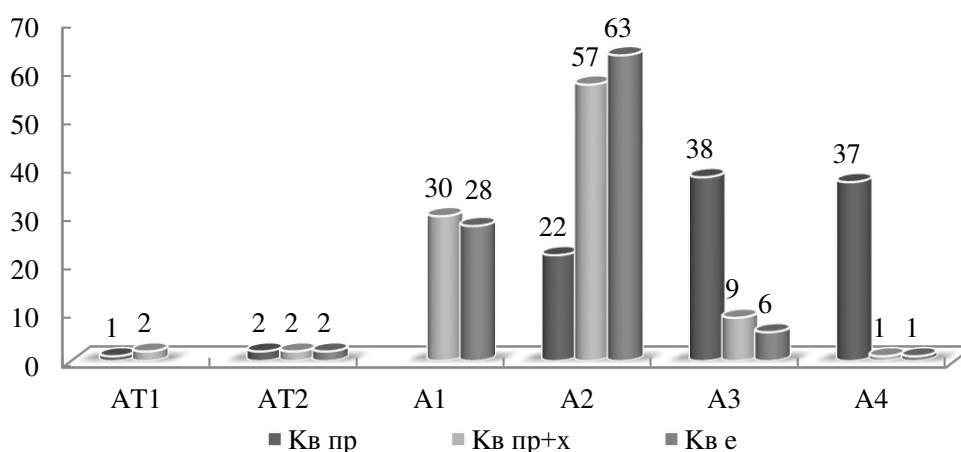


Рисунок 8. Распределение озер Северного Казахстана по коэффициентам внешнего водообмена, %

Внешний водообмен определяется как климатическими (активными) факторами, так и строением озерных систем (адаптивными факторами). Для оценки доли участия активных и адаптивных факторов при формировании внешнего водообмена озер строились климатический (CL) и морфометрический (MM) индексы внешнего водообмена, которые в отличие от коэффициента внешнего водообмена могут быть нанесены на карту для наглядного отражения потенциала территории к интенсивности внешнего водообмена озер.

В работе для озер Северного Казахстана была проведена процедура построения индексов внешнего водообмена (Мякишева, 2009) методом рандомизированных сводных показателей, основы которого даны в работах Н.В. Хованова (1996).

Невозможно сравнивать различные озерные системы непосредственно по всему множеству отдельных показателей (морфометрических и климатических характеристик озерных систем), поэтому были построены *сводные показатели* Q (6), (7), интерпретирующие информацию о значениях отдельных показателей и их значимости. Весовой коэффициент w_i указывает степень значимости отдельного показателя q_i .

$$MM^{(j)} = Q^{(j)} = Q(q^{(j)}) = \sum_{i=1}^m w_i q_i^{(j)} \quad (6)$$

$$CL^{(j)} = Q^{(j)} = Q(q^{(j)}) = \sum_{i=1}^m w_i q_i^{(j)} \quad (7)$$

Морфометрические особенности водообмена озер могут быть с достаточной полнотой описаны с учетом следующих относительно независимых исходных характеристик: q_1 – площадь водосбора (F), q_2 – объем озера (V), q_3 – коэффициент удельного водосбора ($K = F/A$), q_4 – показатель формы котловины ($CI = h_a/h_m$), q_5 – высота озера над уровнем моря (Z) (Догановский, 2002).

Распределение по территории морфометрических индексов водообмена озер MM , рассчитанное (8) по пяти различным вариантам дополнительной экспертной информации, отличается несущественно. Поэтому для анализа был выбран вариант распределения MM (рисунок 9), где в приоритете (значимости) коэффициент удельного водосбора, площадь водосбора и объем озера ($K = F = V > C_1 > Z$).

$$MM = Q = w_1 K + w_2 F + w_3 V + w_4 C_1 + w_5 Z \quad (8)$$

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.

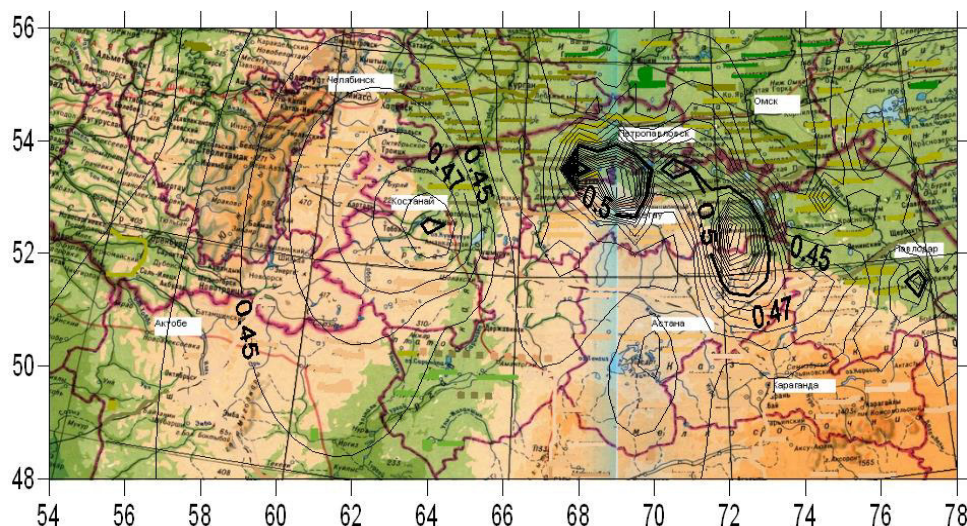


Рисунок 9. Распределение морфометрического индекса внешнего водообмена озер Северного Казахстана

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.

Климатический индекс внешнего водообмена озер CL определяется с учетом основных факторов увлаженности территории средней многолетней температуры воздуха ($T^{\circ}C$) и средней многолетней суммы атмосферных осадков (P , мм), отнесенных к центру тяжести озерной системы.

Сопоставление распределения по территории индексов CL , рассчитанных (9) при разных вариантах задания дополнительной экспертной информации, с распределением многолетнего модуля стока q ($л \cdot с / км^2$) показало, что в условиях современного аридного климата следует отдавать предпочтение варианту расстановки приоритетов, где $T < P$.

$$CL = Q = w_1 P + w_2 T \quad (9)$$

Значения CL заметно меняются по территории, как это видно на рисунке 10. 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 $^{\circ}C$.

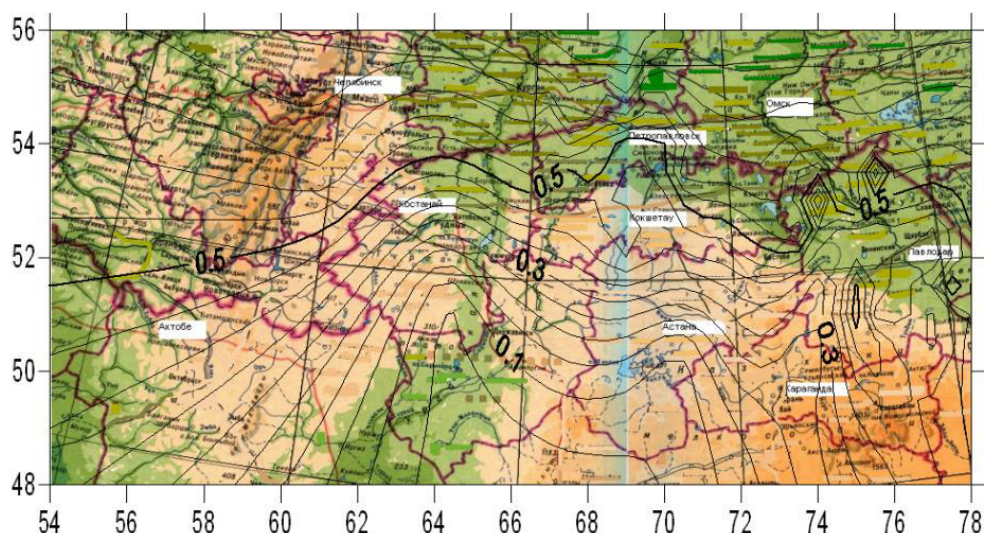


Рисунок 10. Распределение климатического индекса внешнего водообмена озер Северного Казахстана

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° С, а средние многолетние суммы атмосферных осадков – от 300 до 250 мм.

Многокритериальная классификация озер по условиям формирования их внешнего водообмена

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 9). 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 5 – 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 $F_{\text{водсб}}, \text{км}^2$ $V, \text{км}^3$	1 – 20 (30) 10 – 100 0,001 – 0,01	> 10 100 – 500 0,01 – 0,1	>20 500 – 5000 0,1 – 1,0	>30 >5000 1,0 – 10,0

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, к третьему – Большое Торангул, Аксуат, к четвертому – большие и мелкие Карасор и Селетытенгиз.

Многокритериальная оценка качества вод озер Казахстана

Для оценки качества воды методом рандомизированных сводных показателей были использованы ежемесячные данные (2002 – 2010 гг.) 15 параметров состояния водных экосистем озер Боровое, Большое Чебачье, Щучье (гидрофизические данные: содержание взвешенных веществ, прозрачность и цветность воды; гидрохимические параметры: кислотность водной среды (рН), 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.

Оценивалась принадлежность вод к одному из пяти классов качества, алфавит которых был взят из комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши (Оксиюк и др., 1993). Свертка информации для трех озер осуществлялась в двух направлениях: первое – выборка значений 15 характеристик для каждого месяца за 9 лет для анализа внутригодовой динамики качества воды; выборка 15 характеристик параметров качества для каждого месяца каждого года, т.е. 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 11, 12.

Графики выявили периоды низкого и высокого качества воды озер. Согласно гидрохимическим данным, качество вод озер находится в пределах от «удовлетворительно чистой» до «загрязненной». 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 11, 12.

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. 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.

Во внутригодовой динамике качества озерных вод за 9 лет в течение каждого месяца был выявлена цикличность. Сведённые гидрофизические и гидрохимические

показатели (рис. 11) 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»).

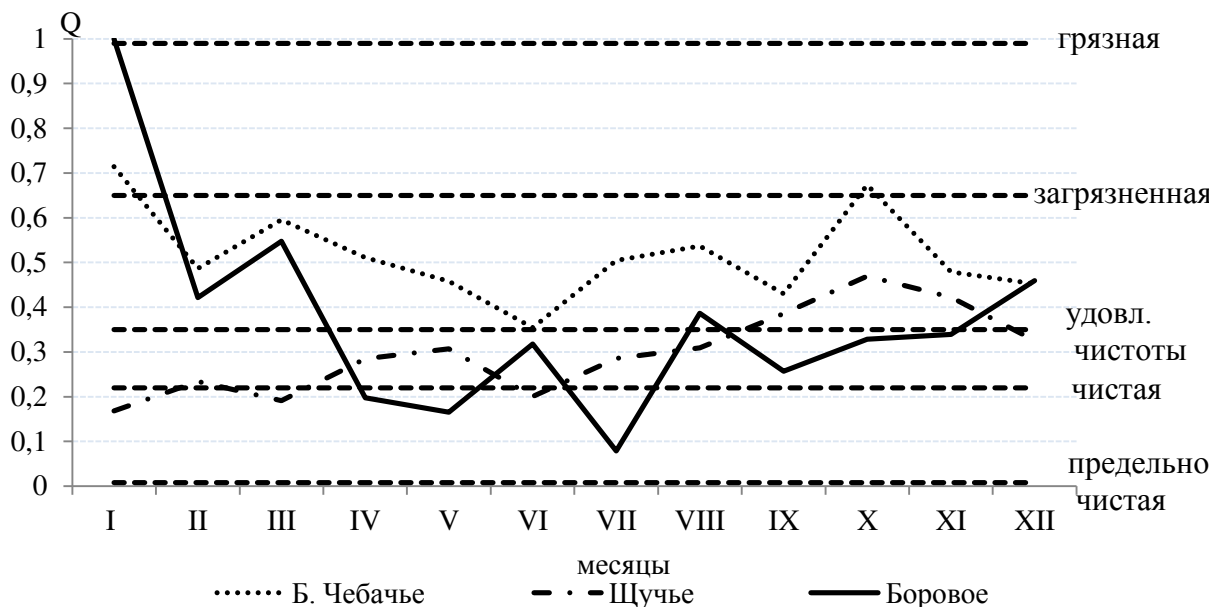


Рисунок 11. Качество воды озера в течение года за многолетний период (2002-2010 гг.) при сведениях гидрофизических и гидрохимических характеристик

Уровень токсического загрязнения водоемов (рис. 12) в течение года отмечается распространением «весьма грязной» воды. На протяжении всего времени года в озерах качество воды варьирует не значительно, что свидетельствует о стабильном характере токсического воздействия в течение года.

Вода озера Большое Чебачье является наиболее грязной (рис. 12). В начале года у него наблюдается самое низкое качество вод, что может быть обусловлено накоплением в воде токсических веществ. С наступлением весны происходит распределение 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.

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.

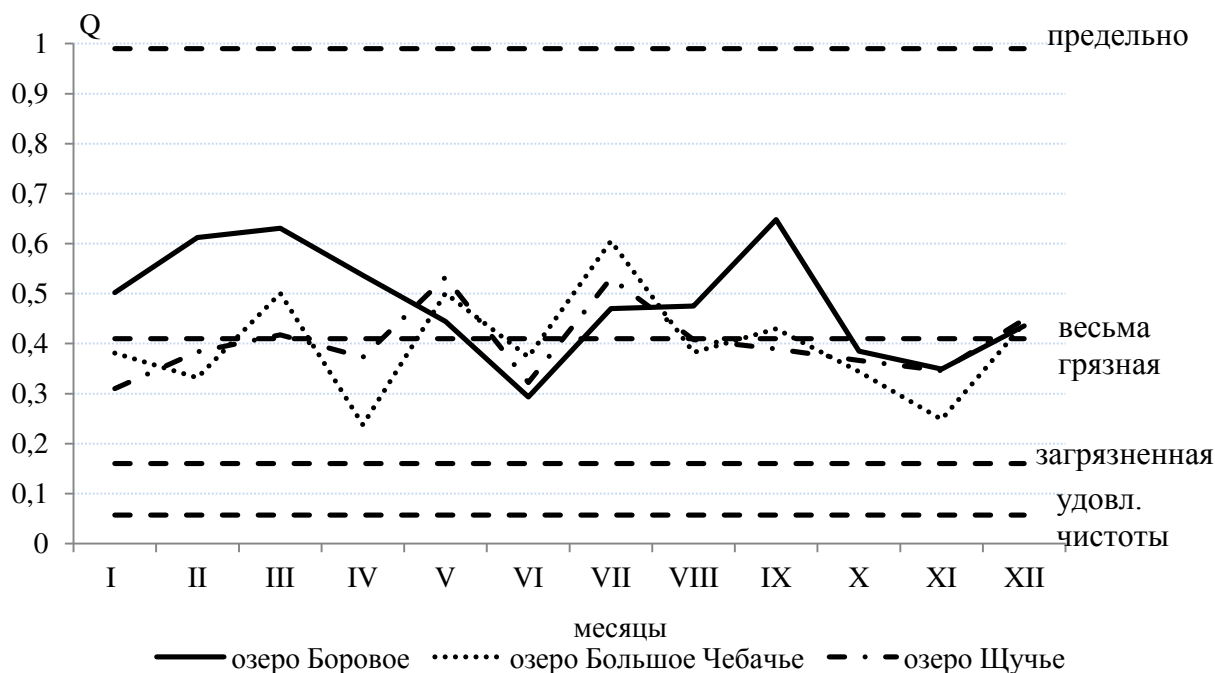


Рисунок 12. Качество воды озер в течение года за многолетний период (2002-2010 гг.) по уровню токсического загрязнения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы диссертационной работы сводятся к следующим:

1. Значения исследуемых размерных и безразмерных 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 ограниченным числом малых озер в анализируемых выборках. Исключения из степенных распределений составляют близкие к нормальным распределения значений показателя формы озерной котловины h_a/h_m и рН.

2. Впервые для озер Казахстана получены функциональные зависимости объема озера от его площади, площади озера от площади водосбора для разных показателей формы котловины и отметок абсолютных высот. По ним можно определить к какому классу по абсолютной высоте и показателю формы котловины относится озеро и, следовательно, составить экспертное мнение о некоторых морфометрических характеристиках.

3. Уточнены суммарные площадь ($4.38 \cdot 10^4 \text{ км}^2$) и объем (181.9 км^3) естественных озер Казахстана, которые превышают аналогичные для таких стран, как Польша и Беларусь.

«Удельная» площадь превосходит рассчитанную аналогичным методом глобальную оценку ($2.7 \cdot 10^6$ км²), а также оценки для озер Китая, России, Польши и Беларуси. При этом «удельный» объем озер Казахстана меньше глобального среднего значения ($179.6 \cdot 10^3$ км³), но почти в 20 раз больше соответствующей оценки для Китая.

4. 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%).

5. Озера зоны недостаточного увлажнения 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. 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*.

6. В результате многокритериальной оценки качества вод при задании равных приоритетов между характеристиками качество воды озеро Большое 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 ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Мякишева Н.В., **Жумангалиева З.М.** Внешний водообмен озер зоны недостаточного увлажнения // Уч.зап. РГГМУ. – 2013. - №27. – С. 36-44.

2. Мякишева Н.В., **Жумангалиева З.М.** Особенности морфометрии и пространственного распределения озер Казахстана // Уч. зап. РГГМУ. – 2013. - №29. – С. 17-28.

3. Мякишева Н.В., **Жумангалиева З.М.** Современное состояние антропогенно нагруженных пресноводных озер Казахстана // Уч.зап. РГГМУ. – 2014. - №34. – С. 63-70.

Статьи в других изданиях:

4. **Жумангалиева З.М.** Многокритериальная оценка качества вод Щучинско-Боровской курортной зоны Казахстана // Сборник докладов IV Международной молодежной научной конференции «Экология-2011», Архангельск 06-11 июня, 2011 года. – Архангельск: изд-во АНЦ УрО РАН, 2011. – С. 94-95.

5. **Жумангалиева З.М.** Ограниченность водных ресурсов Казахстана // Сборник статей VII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология гидрологическая безопасность», Москва 11-13 декабря, 2013 года. – Москва: изд-во ИВП РАН, 2013. – С. 22-26.

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

7. **Zhumangalieva Z.** State of the natural lakes of Kazakhstan // Proc. IWA 6th Eastern European Young Water professionals conference “EAST Meets WEST” Istanbul, 28-30 of May 2014. – P. 369-374.

8. **Жумангалиева З.М.** Качественные и количественные характеристики озер Казахстана // Вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов: материалы межрегион. науч.-практ. конф. студ., магистров и аспирантов (10-12 ноября 2014 г.). – Пермь: Перм. гос. нац. исслед ун-т, 2014. – 124 с. – С. 64-69.