



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экологии и биоресурсов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Экологически допустимые концентрации металлов в озерах
Казахстана**

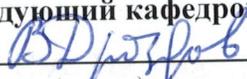
Исполнитель **Ескул Балжан**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **д.х.н., профессор кафедры ЭБ**
(Ученая степень, ученое звание)

Фрумин Григорий Тевелевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой


(подпись)

к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2019г.

Введение. Актуальность темы, цели и задачи выпускной квалификационной работы.

Глава 1. Физико-географическое описание озер Казахстана

1.1. Озеро Боровое.

1.2. Озеро Щучье.

1.3. Озеро Большое Чебачье.

1.4. Озеро Малое Чебачье.

1.5. Озеро Майбалык.

Глава 2. Основные недостатки системы предельно допустимых концентраций.

Глава 3. Методы экологического нормирования.

3.1. Концепция ассимиляционной емкости Ю.А. Израэля и А.В. Цыбань. 3.2. Биогеохимический подход С.А. Патина.

3.3. Подход Д.Г. Замолотчикова.

3.4. Подход А.М. Никанорова и А.В. Жулидова.

Глава 4. Экологически допустимые концентрации металлов в некоторых озерах Казахстана.

4.1. Озеро Боровое.

4.2. Озеро Щучье.

4.3. Озеро Большое Чебачье.

4.4. Озеро Малое Чебачье.

4.5. Озеро Майбалык.

Заключение. Выводы по работе в целом. Оценка степени решения

поставленных задач. Практические рекомендации.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. За последние десятилетия значительно изменился гидрологический режим многих водных объектов, возросли непродуктивные потери воды, произошло загрязнение речных и озерных вод тяжелыми металлами, нефтепродуктами, пестицидами. Экологический мониторинг поверхностных водоемов является одним из ведущих для отслеживания общей экологической ситуации в регионе.

В Экологическом кодексе Республики Казахстан большое внимание уделено мониторингу окружающей среды, включая водные объекты страны. Такой интерес к проблеме мониторинга водных объектов неслучаен, так как в последнее время проблемы чистой воды и охраны водных экосистем становятся все более острыми и глобальными. В настоящее время увеличение антропогенной деятельности оказывает сильное влияние на гидрохимические показатели поверхностных вод, а это неизбежно приводит к нарушению равновесия в гидробиоценозах. Рост и развитие промышленного сектора Казахстана вызвал усиление техногенной нагрузки на территорию страны. Из-за своего географического положения Республика Казахстан обладает дефицитом водных ресурсов. Удельная водообеспеченность Республики Казахстан — 37 тыс. м³/км² или 6 тыс. м³ на одного человека в год. Большая территория Казахстана относится к бессточным бассейнам внутренних озёр, не имеющих выхода к океану. Атмосферные осадки незначительны, за исключением горных регионов.

Развитие промышленного и сельскохозяйственного сектора, коммунально-бытовой сферы в регионе сопровождается загрязнением поверхностных вод сточными водами, поверхностным стоком с водосборной площади водоемов. Одним из показателей устойчивости и стабильности

гидроэкосистемы является биологическое разнообразие составляющих ее видов. Особый интерес вызывает ихтиофауна озер Боровое, Большое Чебачье и Малое Чебачье, Щучье, Майбалык представители которой способны аккумулировать загрязняющие воду вещества. Ихтиофауна - надежный индикатор медленных изменений фоновых уровней токсичных металлов в природных водах. Поллютанты в воде имеют невысокие концентрации, в тканях рыб они могут достигать высоких значений, опасных для самих рыб и для человека, употребляющего рыбу в пищу. Оценка состояния гидроэкосистем озер и разработка рекомендаций по обеспечению качества вод и сохранению биоразнообразия является важной научной проблемой.

Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью разработки региональных ПДК, также необходимостью совершенствования системы оценки качества водных объектов.

Цель исследований. Разработка экологически допустимых концентраций металлов в некоторых озерах Казахстана.

Задачи исследований:

1. Сбор, обобщение и анализ методов определения экологически допустимых концентраций металлов в некоторых озерах Казахстана.
2. Рассчитать экологически допустимых концентраций металлов в некоторых озерах Казахстана.
3. Выявить количественные соотношения между величинами ЭДК и кларками.

Материалы и методы исследования. В работе были рассмотрены пять озер Казахстана. Первичные данные для анализа были заимствованы из ежегодников химической лаборатории государственного предприятия «Центр гидрометеорологического мониторинга» РГП Казгидромет, входящего в состав Министерства экологии и охраны окружающей среды Республики Казахстан с 2004 по 2012 годы.

На рассмотрение были заимствованы данные о содержании металлов в озерах Боровое, Большое Чебачье и Малое Чебачье, Щучье, Майбалык Щучье-Боровской курортной зоны Акмолинской области.

Глава 1. Физико-географическое описание озер Казахстана.

На обширных пространствах Казахстана рассеяно озер значительное количество озер, принадлежащих южному озерному поясу Северного полушария. 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. В степной полосе, в горах и по долинам крупных рек преобладают пресные озера, а в полупустынях, пустынях и межгорных впадинах – соленые. 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: 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.

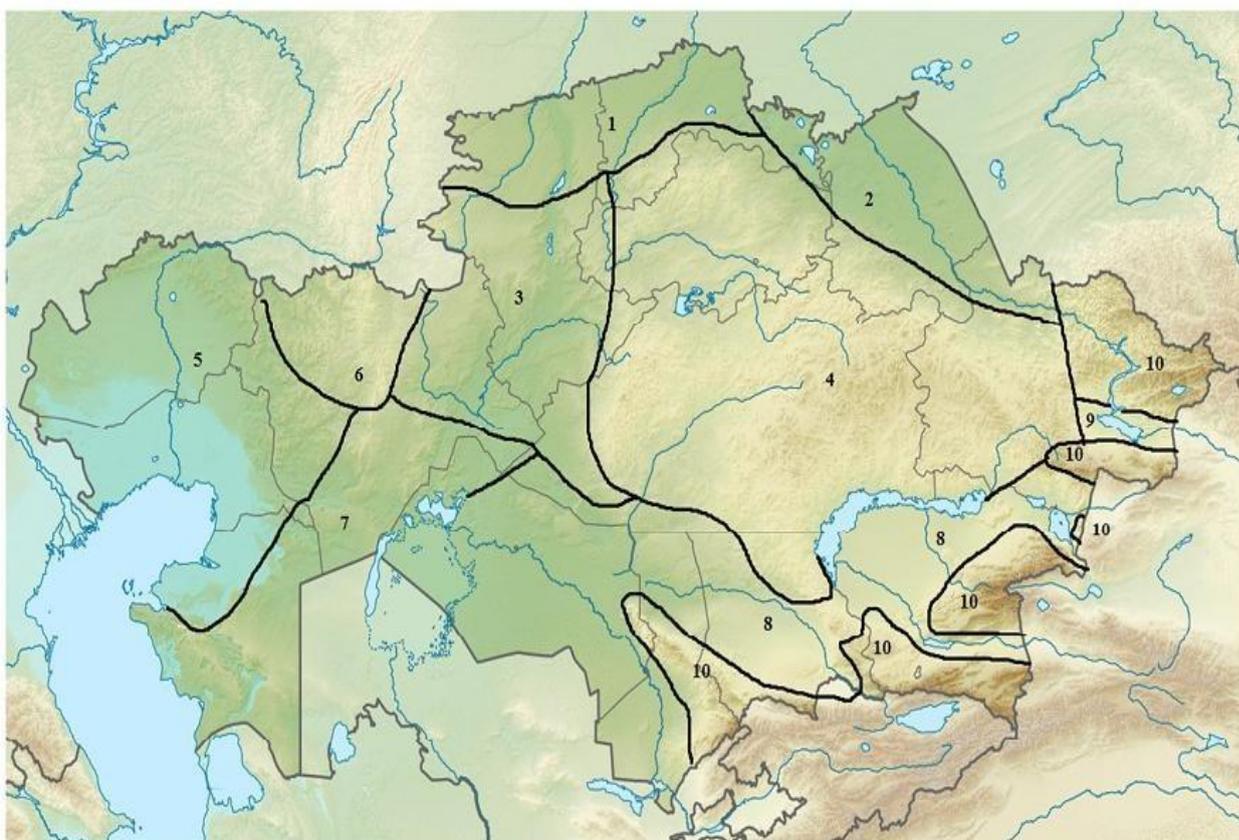


Рисунок 1. Группы озер по географическому положению.

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.

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 грантов 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. Очертания береговой линии озера зависит от формы впадины, в которой оно находится; на его конфигурацию влияют также притоки и развитие дельт. По геометрическим формам озера Северного Казахстана можно подразделить на четыре типа и десять видов.

Первый тип является простейшим. Он характерен для небольших бессточных озер, расположенных, как правило, на равнинной местности. Котловины таких озер неглубокие и имеют блюдцеобразную форму. К типу простейших относится большинство озер в северо-восточной и северо-западной части Кустанайской области и в западной части Северо-Казахстанской области. Из общего числа всех озер Северного Казахстана к простейшим относится более 70%.

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 тонкими 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.

Второй тип характерен для более или менее крупных озер с притоками. Здесь намечается три вида: а) озера, имеющие один приток без дельты, как правило, они имеют каплевидную форму (Токтас, Жаксыалаколь и др); б) озера, имеющие приток с разветвленной дельтой. Здесь за счет отложений возникает конус выноса, который отодвигает береговую линию вглубь озера, образуя ряд заливов, расположенных с одной стороны озера; в) более крупные озера, имеющие несколько притоков, впадающих с различных сторон озера; типичным представителем их является озеро Теке в Кокчетавской области.

Третий тип характерен для озер, расположенных в долинах и в районе мелкосопочника. Здесь различаются пять видов: а) продолговатые озера, расположенных в древних долинах (Кушмурун, Шалкар, Шолакшолкар, и др); б) изогнутые, или серповидные озера; в) зигзагообразные озера. Такие озера также приурочены к долинам г) грушевидные озера (Тенгиз, Мендыгаринский, Койбагар и др.). Такие озера приурочены к двум впадинам сообщающимся между собой; д) лопастные озера. Эти озера встречаются главным образом в районах мелкосопочника. Четвертый тип является сложным (Сарыкопа, Улькенкарой и др.) Здесь форма озера зависит от различных факторов (рельеф, притоки и т.д.) В северном Казахстане многие озера образовались в ложбинах древних рек. На Тургайском плато образование небольших котловин и степных блюдец 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 опущенными 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 1км². 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. 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 15 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- расширились и укреплялись теоретические и методические основы озероведения как науки. Наряду с общин проводилось специализированное изучение озер- биологическое, гидрологические к 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», 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. 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. 17 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. Мурашова. 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. В настоящее время, уже в 21 веке, согласно опубликованным работам современных авторов 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, также выделяются исследования водно-болотных угодий (дельта реки Урал и прилегающее побережье Каспия, Тенгиз-Коргалжынская и Алаколь-Сасыккольская системы озер) на территории особо-охраняемых природных зон Казахстана.

Общая площадь поверхности всех озер Северного Казахстана составляет свыше 19 000 км², что несколько превышает площадь оз.Балхаш и почти равна половине Азовского моря. Если учесть, что площадь Северного Казахстана исчисляется примерно и 485 000 км², то окажется, что под озерами здесь занято более 4% от этой территории, приближенные вычисления показывают, что при глубине озер 2м общий объем воды составляет около 40 млрд м³, общая площадь пресных озер занимает не менее 3 000 км²; при глубине пресных озер в 2,5 м общий объем воды составит более 7,5 млрд. м³.

Наибольшая сосредоточенность озер наблюдается в северо-западной и северо-восточной частях, а также в Семиозерном районе Кустанайской области, в Кургальджинском районе Акмолинской области и в западной части Северо-Казахстанской области. В отдельных местах Пресногорьковского района Кустанайской области на 100 кв. км местности приходится до 25 озер, а в Семиозерном районе- даже до 50. Наиболее крупные озера расположены вдоль Тургайского прогиба (Кушмурун, Аксуат, Сарыкопа, Сарымоин, Тенгиз и др.), в северо-восточной части Кокчетавской области (Шаглытенгиз, Улькункарой, Теке, Селетытентиз и др.), на юге Акмолинской области (Тенгиз, Кургальджин, Алаколь и др.) и на северо-западе Павлодарской области (Кызылкак, Жалаулы и др.). Пресные озера в основном приурочены к лесостепной зоне (Федоровской и Пресногорьковский районы Кустанайской области, Мамлютский и Пресновский районы Северо-Казахстанской области) и к Казахскому мелкосопочнику (Кокчетавская возвышенность, северная часть

Акмолинской области и т. п.), а также к низовьям крупных рек (Нуры, СарыТургая). В Павлодарской области, в восточной части Кокчетавской и Акмолинской областей и в центральной части Кустанайской области преобладают соленые озера и соры. Комплексное, многостороннее и систематическое изучение озер 20 Северного Казахстана началось в основном с 1954 г. в связи с массовым освоением целинных и залежных земель. Из общего числа озер (11 тыс.) комплексному обследованию подверглось лишь несколько десятков озер. Об остальных озерах имеются очень скудные сведения, а большей частью они совершенно отсутствуют, и о размерах их можно судить только по картам. Поэтому в настоящее время нельзя еще говорить, что нам известны и понятны все особенности и компоненты комплекса, определяющего развитие озер на этой территории. Отрадно, однако, отметить, что материалы в этом направлении накапливаются с каждым годом, и они помогают выяснять новые данные о природе озер. К общим природным условиям озер, оказывающим существенное влияние на их жизнь и развитие, мы относим географическое положение Северного Казахстана, его геологическое строение, орографию и геоморфологию, климатические и гидрологические показатели, характерные стороны почвенно-растительного покрова, а также хозяйственную детальность населения. Совокупность общих условий в сочетании с местными особенностями природных условий озер создает комплекс, определяющий их размещение, развитие и жизнь.

Полевыми натурными исследованиями установлено, что геологогеоморфологическая строение бассейнов ЩБКЗ в результате хозяйственного освоения, претерпела изменения локально-линейного характера. В первую очередь следует отметить разработку метаморфических (гранит, сланцы, доломиты) пород в пределах юго-западного склона Щучинских сопок и Беркутинского массива, осадочных пород (песок, гравий, галька) озерных террас, добыча которых осуществлялась карьерным способом для промышленного и бытового строительства, а также стекольной

промышленности. Прокладка и обустройство новых автомобильных магистралей помимо позитивного аспекта внесла существенную корректировку в планировку естественного рельефа, что выразилось в уничтожении как положительных, так и отрицательных форм рельефа, а также появлении нового антропогеннообусловленного рельефа (автострад с присущими им элементами и формами антропогенного рельефа).

Строительство санаторно-курортных комплексов, особенно на оз. Бурабай и Шортан, приводит к нарушению геологической среды при закладке фундамента и коммуникационных систем, а обустройство прилегающей территории – к уничтожению исходных форм и элементов рельефа, особенно в пляжной зоне.

Гидрогеологические условия территории Щучинско-Боровской курортной зоны определяются разнообразными факторами, как способствующими, так и препятствующими накоплению подземных вод, район исследований относится к зоне недостаточного увлажнения и характеризуется бедностью подземных вод. К положительным факторам относятся: наличие бессточных отрицательных форм рельефа, обеспечивающих условия для водосбора и дальнейшей инфильтрации атмосферных осадков; выходы на поверхность или близко к ней трещиноватых коренных пород; практически сплошной древесный покров, снижающий величину испарения в жаркий период, способствующий накоплению снега и замедленному его таянию, что повышает долю инфильтрации талых вод по отношению к поверхностному стоку.

Отрицательными факторами являются: засушливый климат, создающий дефицит влаги; малое количество осадков и неравномерное их распределение в течение года и по территории; высокий уровень транспирации, особенно лиственных пород древостоя, в засушливый период при близком залегании уровня; местный подземный сток в озера, с акватории которых влага интенсивно испаряется, что в совокупности с

водоотбором на бытовые и производственные нужды приводит к сработке уровня подземных вод; 19 ненормированное использование водосборных комплексов в сельскохозяйственном производстве. На территории области насчитывается около 100 водотоков длиной более 10 км, большинство из них представляют временные водотоки, протяжением до 100 км. Рек длиной свыше 100 км – 6, а свыше 200 км – всего 1 (р. Чаглинка). Крупным водотоком области является р. Есиль (Ишим) с притоками - рр. Аккан-Бурлук и Нижний Бурлук, протекающая в западной, окраинной ее части. На востоке, западе и северо-западе от Кокшетауского массива расположено около 50 водоемов к ним относятся и озера ЩучинскоБоровской группы: Улькен Шабакты (Большое Чебачье), Киши Шабакты (Малое Чебачье), Шортан, Бурабай (Боровое), Текеколь, Майбалык, Сулуколь, Жукей, Карасье, Катарколь.

На северном берегу озера у санатория «Щучинский» расположен гидрологический пост оз. Шортан - г. Щучинск, на котором ведутся наблюдения РГП «Казгидромет». Гидрологический пост оз. Шортан - г. Щучинск действует с 21.06.1979 г. по настоящее время. Местность, прилегающая к посту, представляет собой слабоволнистую равнину. Берега озера преимущественно пологие. Дно в районе поста илистое, у северо- 22 восточного и юго-восточного берегов – песчаное, у юго-западного – песчаногалечное. Пост свайного типа. Отметка нуля поста 380.038 м БС. Пост на озере Бурабай – с. Боровое расположен на восточном берегу. Пост свайного типа. Отметка нуля поста 311.23 м БС. На озере Улькен Шабакты расположен гидрологический пост Улькен Шабакты – с. Боровое на северном берегу. Прилегающая местность представляет собой мелкосопочник, частично покрытый смешанным лесом. Пост свайного типа. Отметка нуля поста 289.50 м БС. В 2008 году уровни пересчитаны на новый нуль поста в БС с поправкой (129 см), путем привязки.

Режим водной массы озер Акмолинской области определяется величиной слагаемых водного баланса, вариацией этих слагаемых и характером чередования их величин во времени. Основными слагаемыми приходной части водного баланса большинства озер являются приток талых снеговых вод, стекающих с водосбора озера в течение кратковременного весеннего половодья, и осадки, выпадающие на поверхность озера в виде дождя и снега. Расходная часть водного баланса почти целиком определяется испарением воды с поверхности озера, так как большинство водоемов области бессточны.



График 1. Многолетние колебания уровня воды озера Шортан за 2003- 2012 гг.

На Графике 1 изображен график многолетних колебаний уровня воды озера Шортан за период 2003-2012 гг. На графике видно, что самое низкое значение наблюдалось в ноябре 2009 года отметка уровня воды 755 см и с декабря этого же года произошло резкое увеличение уровня воды, возможно это были сбросы воды из внешних источников. Максимальное значение наблюдалось в мае 2010 года 924 см.

1.1. Озеро Боровое.

Озера Щучинско-Боровской курортной зоны относятся к четвертой озерной области Северного Казахстана, 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.

Водосбор озера расположен в горной лесной местности, а само озеро - в северной части бассейна, у восточного подножия горы Синюха. Озеро отделено от соседних озер (У. Шабакты, Шортан и др.) небольшими хребтами с абсолютными высотами 400 - 800 м (гора Синюха 887 м абс.). Около 90% площади водосбора покрыто лесом (сосна и береза), являющимся заповедником. Остальная часть бассейна занята степными участками,

имеющими островной характер, и огородами. Водная поверхность озера в основном открытая; только вдоль западного и южного побережий имеются заросли тростника, камыша и кувшинки, занимающие около 5% общей площади. Значительная часть озера занята погруженной водной растительностью (рдесты и водоросли). Дно ровное, с уклоном на север, у берегов песчаное и каменистое, в середине илистое; мощность ила в северной части озера 0,5-1 м, в южной-1,6 м. Хорошо заметны конусы выноса со стороны притоков.

В северо-западном заливе озера находится небольшой скалистый островок Сфинкс, имеющий форму гриба и возвышающийся над водной поверхностью на 20 м.

Южный, западный и северный берега озера сложены гранитами, местами возвышающимися над водой в виде утесов. На северном берегу выделяются утес Корова и мыс Пахомовка, на западном — мысы Максима Горького и Горелый, утес Кзыл-Тас. Восточный берег песчаный, отлогий; близ уреза воды тянется песчаный вал шириной 2-5 м, высотой 1,5 м. Все берега поросли сосновым лесом.

Озеро проточное, в него впадают: с юго-восточного берега - руч. Сарыбулак, с западного - руч. Имайский и два ключа без названия. Из озера, в его северо-восточной части, вытекает р. Громотуха длиной 1,5 км, сбрасывающая излишние воды в соседнее оз. Улькен Шабакты.

Наивысший уровень озера (6,7 м усл.) наблюдался в 1914 и 1919 гг. Изменения уровня озера в среднем относительно незначительны, так как при увеличении притока соответственно увеличивается и сток из него.

Минерализация воды в течение всего года составляет 100 - 150 мг/л, а жесткость - 1,0- 1,5 мг-экв. (очень мягкая). Вода хорошая, чистая, используется для питья местным населением и санаторием, находящимся на восточном берегу озера, а также для полива огородов.

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 98 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.

Рисунок 2. Озеро Боровое.

На территории Щучинско-Боровской курортной зоны расположено большое количество санаториев, курортов и зон отдыха, оздоровительных центров. С каждым годом увеличивается число отдыхающих и туристов. Природные объекты Боровского горно-лесного массива, где расположена Щучинско-Боровская курортная зона, имеют особую научную, культурную, экологическую и рекреационную ценность. В регионе расположено более 80 санаторно-курортных и оздоровительных объектов и в настоящее время завершается строительство еще нескольких объектов. В летний оздоровительный сезон в здравницах Щучинско-Боровской курортной зоны отдыхает по некоторым оценкам более 500 тыс. человек. Это в 10 раз превышает численность населения, проживающего по берегам озер. Вода в озере Шортан используется для коммунального и питьевого водоснабжения г. Щучинска и санаториев, расположенных по берегам водоема. А также вода в озерах используется для полива огородов и сельскохозяйственных угодий.

Таблица 1

Размеры озера при различном наполнении

Озеро Боровое (Бурабай)

Уровень	Условная отметка уровня воды, м	Размеры озера				Объем воды, млн.м ³
		Длина,км	Ширина, км	Площадь зеркала, км	Средняя глубина, м	
Наинизший	5,0	4,5	3,1	9,9	2,9	29,0
При обследовании 21/VI 1956 г.(близкий к среднему)	5,7	4,6	3,2	10,5	3,4	36,2
Наивысший по отметке УВВ	6,7	4,7	3,3	10,9	4,3	46,9
При наполнении озера до отметки	1,0	1,8	0,7	1,0	0,5	0,5
	2,0	3,2	2,9	6,6	0,7	4,3

	3,0	3,5	3,0	7,5	1,5	11,3
	4,0	4,3	3,1	9,0	2,2	19,6

1.2. Озеро Щучье.

Щучье (*Шортанкóль*) — озеро в Бурабайском районе Акмолинской области Казахстана, в городе Щучинск. Принадлежит к Ишимскому водохозяйственному бассейну. Входит в группу Кокчетавских озёр.

Название озера произошло из-за большого обилия щуки в озере. В 1850 году на берегу этого озера основана станица Щучинская. Название этого населённого пункта произошло от названия 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. Длина озера Щучье 7 км, ширина 3 км. Высота над уровнем моря — 390 метров, глубина до 18 метров (в некоторых источниках — до 35 метров).

Щучье- самое глубокое Щучинско-Боровской Курортной Зоны «Бурабай». Озеро вытянуто с севера на юг. Берега местами заболоченные, местами сухие, песчаные. Практически со всех сторон озера — лес.

Прилегающая местность - слабоволнистая равнина. Берега преимущественно пологие, на юго-западе умеренно крутые, сливаются со склонами Щучинских сопок, покрыты сосновым лесом, сложены суглинистыми грунтами, имеется выход скальных пород.

Дно в районе поста илистое, у северо-восточного и юго-восточного берегов - песчаное, у юго-западного - песчано-галечное. Водная поверхность открытая, без растительности.

Береговая линия изрезана небольшими открытыми бухточками. У подножия Щучинских сопок встречаются многочисленные выходы грунтовых вод с дебитом 0,5-2 л/сек. Озеро бессточное и постоянных притоков не имеет.



Рисунок 3. Озеро Щучье.

Раньше в озеро впадало много небольших ручьев и река Кылшакты. Но в 1930 году река потеряла связь с озером. С высоты птичьего полёта озеро

Щучье похоже на морского конька или динозавра. С каждым годом это сходство становится всё меньше, поскольку озеро постепенно мелеет.

В озере обитают – щука, окунь, чебак (сибирская плотва), сиг, пелядь, рипус, ряпушка, линь, судак и раки.

Таблица 2

Размеры озера при различном наполнении
Озеро Щучье (Шортан)

Уровень	Условная отметка уровня воды, м	Размеры озера				Объем воды, млн.м ³
		Длина,км	Ширина, км	Площадь зеркала, км	Средняя глубина, м	
Наинизший	27,9	7,0	3,5	18,1	14,1	255
При обследовании 15/VI 1956 г.	28,4	7,0	3,5	18,6	14,3	265
Наивысший по отметке УВВ	33,0	7,3	3,8	21,2	16,9	357
При наполнении озера до отметки	2,0	1,3	0,6	0,5	1,0	0,5
	4,0	2,5	1,2	1,8	1,5	2,7
	6,0	3,1	1,8	3,5	2,3	8,0
	8,0	4,4	2,0	6,4	2,8	17,9
	10,0	4,6	2,2	7,7	4,2	32,1
	15,0	5,6	2,7	10,2	7,5	76,9
	20,0	6,1	3,2	13,1	10,3	135
	25,0	6,6	3,4	15,5	13,4	207
30,0	7,2	3,7	19,9	14,8	295	

1.3. Озеро Большое Чебачье.

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. Водосбор расположен возле мелкосопочника, в котором открытые равнинные участки, занятые целинной степью, чередуются с холмами, покрытыми смешанным лесом. К югу от озера находятся склоны горного массива, поросшего сосновым лесом, а северная и восточная части бассейна безлесные.

Бассейн озера занимает северную и северо-восточную части территории национального парка, расположен на границе горного хребта Кокшетау на юге с открытой холмистой равниной, занятой целинной степью, на севере. Площади степных и лесных участков примерно одинаковы.

Грунты равнинной части бассейна супесчаные, холмы и горный массив сложены преимущественно гранитами. Дно озера сложено желто-



коричневыми глинами, покрытыми светлым (известковым) и черным илом мощностью до 2 м, белесым налетом покрыты и береговые наносы. Озеро открытое, без водной растительности, что объясняется наличием больших глубин (до 30 м). Северный и восточный берега озера пологие, степные, высотой 5 - 6 м. Южным и юго-западным берегами служат склоны горного массива Кокшетау, поросшие преимущественно сосновым лесом.

Рисунок 4. Озеро Большое Чебачье.

На озере имеется ряд небольших островов, образованных подводными грядами; часть из них покрыта редкой кустарниковой растительностью. По

сравнению с топокартой 1961 г. площадь и количество островов увеличилось, часть прибрежных островков соединились с сушей.

Озеро бессточное. С южного берега в озеро впадает река Громотуха, вытекающая из озера Боровое. С востока к озеру открывается долина ручья Арыкпай, однако поверхностный сток по ней практически отсутствует.

Таблица 3

Размеры озера при различном наполнении
Озеро Большое Чебачье (Улкен Шабакты)

Уровень	Условная отметка уровня воды, м	Размеры озера				Объем воды, млн.м ³
		Длина, км	Ширина, км	Площадь зеркала, км	Средняя глубина, м	
Наинизший	32,9	7,3	4,0	22,2	10,8	240
При обследовании 20/XII 1956 – 13/1 1957г.	33,3	7,4	4,2	22,5	11,1	250
Наивысший по отметке УВВ	37,7	7,5	4,5	25,1	14,2	356
При наполнении озера до отметки	4,0	0,5	0,2	0,1	2,0	0,2
	8,0	0,8	0,4	0,3	2,7	0,8
	12,0	2,1	0,5	1,1	3,4	3,8
	16,0	4,1	1,0	4,0	3,5	14,1
	20,0	4,6	2,0	8,3	4,7	38,7
	24,0	6,4	2,6	13,1	6,2	81,5
	28,0	7,2	2,8	17,9	8,0	144

1.4. Озеро Малое Чебачье.

Озеро Малое Чебачье расположено у города Щучинска. Площадь водного зеркала около 19 км², озеро глубокое, максимальная глубина

составляет в центральной части 30,0 м, средняя — 14,0 м, длина озера 10 км, ширина 3 км, длина береговой линии 22,5 км, площадь водного зеркала 21 км, объем воды 190 м³.

Как показывают исследования, качество воды в водоемах курортной зоны имеет тенденцию к ухудшению, и степень ее загрязненности в динамике заметно увеличивается. Об этом свидетельствует высокое содержание тяжелых металлов, низкое качество воды по прозрачности и увеличение биохимической потребности кислорода. Так, например, показатели качества воды озера Щучье по содержанию токсичных тяжелых



металлов превышают предельно допустимые концентрации для питьевых вод.

Рисунок 5. Озеро Малое Чебачье.

Антропогенная нагрузка, возрастающая по мере увеличения использования озер в качестве зон отдыха, способствует ускорению эвтрофирования, т.е. накопления в водах биогенных элементов под воздействием человеческого или природных факторов. Сначала эвтрофикация ведет к повышению биологической продуктивности водных бассейнов, а затем, с возрастающей нехваткой кислорода, после к заморам.

Таблица 4

Размеры озера при различном наполнении
Озеро Малое Чебачье (Киши Шабакты)

Уровень	Условная отметка уровня воды, м	Размеры озера				Объем воды, млн.м ³
		Длина, км	Ширина, км	Площадь зеркала, км	Средняя глубина, м	
Наинизший	11,5	9,0	2,6	20,8	6,3	131
При обследовании 23/11 1956 г.	12,0	9,3	2,6	21,4	6,6	141
Наивысший по отметке УВВ	15,6	9,5	2,7	21,8	8,4	184
При наполнении озера до отметки	2,0	1,9	0,7	1,7	1,0	1,7
	4,0	7,4	1,6	10,8	1,3	14,2
	6,0	7,6	1,9	13,9	2,8	38,9
	8,0	7,7	2,1	15,8	4,3	68,5
	10,0	8,4	2,5	17,8	5,7	102

1.5. Озеро Майбалык.

Майбалык — озеро естественного дефляционного происхождения, бессточное, питание грунтовое, а также за счет снеготаянья, дно плоское, илистое. Берега пологие, местами топкие. Средняя глубина 1,6м.

Максимальная глубина озера до пяти метров. Майбалык характеризуется высокой биопродуктивностью. Его окружают обширные заросли осоки, тростника, камыша, в воде обильная погруженная растительность, образующая рдестовые и роголистниковые луга. Вода в озере зеленоватого цвета, обрастания также зеленого цвета. В пробах воды обилие планктонных организмов, среди которых встречались *Navicula cuspidate* Kütz., *Navicula humerosa* Breb., *Girosigma Spenseri* (W. Sm.) Cl., *Surirella Capronii* Breb., *Cosmarium punctulatum* Breb., *Merismopedia tenuissima* Lemm — индикаторы чистоты водоема от меди, железа, СПАВ, нефтепродуктов. Из зоопланктона наблюдается обилие дафний, циклопов, брахионусов, диафанозом, что также свидетельствует об отсутствии токсичности воды в озере.

По предварительным оценкам озеро относится к мезотрофному типу водоемов. В самом водоеме в изобилии водятся такие рыбы, как карп, щука, карась, окунь, линь, судак, плотва. Изредка встречались сиг, пелядь, белый амур, ряпушка.



Рисунок 6. Озеро Майбалык.

Максимальный объем озера 80 млн м³. На данное время уровень озера составляет 75 млн м³. С 1967 г. при нем функционирует рыбопитомник, предназначенный для рыбного хозяйства. При озере расположены четыре летнематочных пруда (12,7 га), девять зимовальных прудов (8,1 га) и 14 выростных прудов (181 га). Рыбопитомник является стратегическим объектом в области экологии, как предприятие, восстанавливающее биологические ресурсы рыбохозяйственных водоемов. Ежегодно рыбопитомник выпускал в водоемы Акмолинской области для пополнения рыбного баланса порядка 41 млн сеголеток — мальков карпов. Помимо рыбохозяйственного значения, озеро Майбалык имеет важное экологическое значение для столицы Казахстана. В летний период с акватории водоема испаряется до 20 млн м³ воды, благодаря чему происходит естественная очистка и увлажнение пыльного воздуха в городе. Почвы на прилегающей территории в основном лугово-каштановые, которые представлены карбонатными, солончаковатыми типами.

По морфологическим показателям почвы маломощные, и их гумусовый горизонт (А+В) не превышает 30 см. Содержание гумуса колеблется от 5 до 7%. Водный режим почв пульсирующий — кратковременные периоды обильного увлажнения чередуются с периодами обычного режима автоморфных почв. Грунтовые воды расположены на глубине 3–6 м.

На территории озера Майбалык в ближайшие годы запланировано создание рекреационной зоны отдыха для жителей столицы. Будет разрешено спортивно-любительское рыболовство в пределах 100-километровой зоны. Прослеживается определенная цикличность в водности озера. Продолжительность основных циклов составляет 29–47 лет, вторичных циклов — 6–9 лет. Зарегистрированные годы наиболее сильного обмеления и наполнения представлены в Таблице 5.

Таблица 5

Периоды наиболее сильного обмеления и наполнения озера Майблык с 1937 по 2016 г.

Обмеление	Наполнение
1937–1940 гг.	1950 г.
1951–1978 гг.	1979–1986 гг.
1990–2005 гг.	2016 г.

Глава 2. Основные недостатки системы предельно допустимых концентраций.

В настоящее время система ПДК подвергается справедливой и аргументированной критике, и наметилась тенденция к оценке состояния водных объектов с позиций сохранения структуры и функциональных особенностей гидроэкосистемы, а не с точки зрения потребностей конкретного природопользователя, т.к. «необходимо научиться прогнозировать отклик экосистемы в целом на совокупное внешнее воздействие, а не какого-либо ресурсного звена, обуславливающего практический интерес потребителя». Систематизация основных аргументированных претензий к действующей системе ПДК сводится к следующему.

Концентрация веществ в воде не отражает токсикологическую нагрузку на экосистему, так как не учитывает процессы аккумуляции веществ в биологических объектах и донных отложениях. Так, в воде, содержащей 0,004 млн долей ДДТ на 1 л в конце пищевой цепи, после планктона и рыб, на 1 кг веса бакланов приходится уже 26,4 млн долей ДДТ. Иными словами, вне поля зрения системы ПДК оказываются такие процессы, как аккумуляция загрязняющих веществ различными водными организмами, например, водорослями, с последующим высвобождением их

во время массового (например, сезонного) отмирания. В этих случаях возможны высокие концентрации загрязняющих веществ на тех участках водных объектов, где сброс сточных вод нормировался, и концентрации загрязняющих веществ были в пределах нормы.

Федеральные ПДК не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений), а значит, и их токсикорезистентность. Так, разные биогеохимические провинции (и отдельные водоемы) отличаются друг от друга по содержанию в поверхностных водах свинца в 2000 раз, никеля – в 1350, цинка – в 500, меди – в 10000, хрома – в 17000 раз. Неучёт этого влияет на величины ПДК, рекомендуемые в масштабах всего государства и неприемлемые для регионов с низким фоновым содержанием данного элемента. Как правило, не исследуется региональная специфика самоочищающей способности экосистем, применяются единые ПДК для экосистем в различных климатических и биогеоценотических условиях. В некоторых регионах страны природный фон концентраций ряда химических веществ, например, металлов весьма высок и превышает ПДК в несколько раз.

Не учитываются эффекты синергизма, антагонизма, суммации. В частности, принцип суммирования (при многокомпонентном сбросе), используемый в расчетах токсикологической нагрузки веществами одного лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), некорректен для сублетальных концентраций загрязняющих веществ. Количественное содержание многокомпонентной смеси ниже ПДК для каждого отдельного вещества еще не свидетельствует о ее безопасности для водного биоценоза. Смесь загрязняющих веществ может давать сложный токсический эффект, который нельзя свести к сумме действия составных частей смеси.

При обосновании ПДК не учитывается разный трофический статус экосистем, сезонные особенности природных факторов, на фоне которых проявляется токсичность загрязняющих веществ. Действие токсикантов на водные организмы существенно зависит от таких показателей как температура, содержание кислорода, рН, общая жесткость и т. д.

Процессы трансформации загрязняющих веществ в водных экосистемах включают целый ряд стадий, причем нередко промежуточные продукты превращений оказываются более токсичными, чем исходные загрязняющие вещества.

Формирование таблиц ПДК не поспевает за поступлением новых загрязняющих веществ в водные объекты. Очевидно, что темпы синтеза новых веществ несоизмеримы с темпами нормирования их воздействия. Это ставит под сомнение репрезентативное обеспечение оценки состояния и качества среды только на основе системы ПДК. Перечисленные, а также некоторые другие недостатки, не отвергают необходимость оценки состояния водных объектов по ПДК, но свидетельствуют о необходимости разработки новых подходов. Каждый водный объект представляет собой единую экосистему, поэтому задачу охраны вод надо решать с научно-обоснованных экологических позиций. Иными словами, обобщая представленный материал, мы неизбежно приходим к выводу об экологической целесообразности регионального регламентирования антропогенной токсикологической нагрузки на водные экосистемы. В июле 1985 г. Верховный Совет СССР после рассмотрения вопроса об охране природы в нашей стране принял постановление, в котором, в частности, Государственному комитету СССР по гидрометеорологии и другим министерствам и ведомствам было поручено провести в 1986–1990 гг. комплекс научных исследований с целью перевода всей системы государственного контроля загрязнения окружающей среды на экологическую основу. Было предложено разработать принципиально новый

подход к нормированию антропогенных воздействий, основанный на экологическом нормировании техногенных загрязнений различных элементов географической оболочки. Проблема экологического нормирования обсуждается в специальной литературе достаточно давно, и к настоящему времени разработаны методологические основы обоснования предельно допустимых экологических нагрузок. Тем не менее, во многих публикациях продолжают преобладать общие рассуждения и отсутствуют конструктивные предложения, которые можно было бы использовать при экологическом нормировании. Возникает впечатление, что количество предложенных подходов к решению этой проблемы равно количеству занимающихся ею ученых. Можно предположить, что в конечном итоге все же будет создана общая теория, которая объединит все подходы и взгляды на механизм функционирования экосистем и позволит учесть эти механизмы при экологическом нормировании антропогенного воздействия. Следует, однако, признать, что запросы практики требуют незамедлительного перехода от общих рассуждений о необходимости экологического нормирования к созданию научно обоснованных методов расчета допустимых экологических нагрузок на пресноводные, морские и иные экосистемы. Экологическое нормирование призвано ограничить антропогенные воздействия рамками экологических возможностей и нацелено на оптимизацию взаимодействия человека с природой, на оптимизацию использования возобновляемых природных ресурсов. В общем виде экологическое нормирование предусматривает: – учет при оценке последствий антропогенного воздействия множественности путей загрязнения и самоочищения элементов биосферы; – поиск «критических» звеньев биосферы и факторов воздействия; – развитие подходов к нормированию воздействий с учетом их влияния на природные экосистемы.

Основным критерием при определении допустимой антропогенной нагрузки является отсутствие снижения продуктивности, стабильности и разнообразия экосистемы. Гибель отдельных организмов в этом случае не

представляется критической. В связи с изложенным, цель данного исследования заключалась в оценке экологически допустимых концентраций металлов (ЭДК) в некоторых озерах Казахстана.

Первичные данные для анализа были заимствованы из ежегодников химической лаборатории государственного предприятия «Центр гидрометеорологического мониторинга» РГП Казгидромет, входящего в состав Министерства экологии и охраны окружающей среды Республики Казахстан. Для установления экологически допустимых концентраций (ЭДК) металлов были использованы три варианта расчетов:

$$\text{ЭДК1} = \text{ССР} + 2\sigma \quad (1);$$

$$\text{ЭДК2} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК}) \quad (2);$$

$$\text{ЭДК3} = \text{ССР}(1 + \sigma/\text{ССР}) \quad (3)$$

где ССР – средняя концентрация металла за рассматриваемый период, σ – среднеквадратическое отклонение, ВК – верхняя квартиль распределения, НК – нижняя квартиль распределения. Обоснование подхода С.А. Патина к экологическому нормированию сводится к следующему. Один из распространенных подходов к определению критических точек основан на предположении, что критерием нормального состояния экосистемы является нормальный закон распределения ее переменных.

В соответствии с основными положениями биогеохимии и геохимической экологии, организмы и биоценозы эволюционно адаптировались к химическим факторам среды. Из этого следует, что существующие в настоящее время средние концентрации металлов в Мировом океане оптимальны для его биотического населения, а крайние пределы отражают соответственно критические уровни недостаточного (если элемент необходим для жизнедеятельности) или избыточного (если элемент токсичен) содержания металлов в морской воде. Последний уровень является естественной, эволюционно обусловленной границей зоны максимально допустимого содержания металла для всего населения

Мирового океана. На основании изложенного С.А. Патиным был разработан биогеохимический подход к нормированию ПДК тех химических элементов, которые являются одновременно и естественными микрокомпонентами состава воды, и распространенными антропогенными примесями в морских экосистемах.

Каждый из таких компонентов среды должен иметь свой биологически допустимый (толерантный) для гидробионтов диапазон концентраций в воде, в пределах которого организмы, их сообщества и популяции располагают возможностями оптимальной реализации своих физиологических, экологических и других функций. Границы диапазонов концентраций каждого элемента устанавливаются для океанических и морских условий, так как пределы колебаний и причины изменчивости содержания металлов в пелагиали океана и в морских бассейнах различны. Количественная оценка верхнего биогеохимического порога экологической толерантности (ЭДК1) проводится по формуле (1). В отличие от рыбохозяйственных ПДК, устанавливаемых, в основном, по токсикологическому признаку вредности на уровне организмов и популяций, биогеохимические ПДК (ЭДК) определяются даже не для отдельных видов и популяций, а для всей биоты морей и океанов с точки зрения устойчивости основных структурных и функциональных характеристик биоценозов, то есть на более высоком экосистемном уровне.

Согласно Д.Г. Замолодчикову, современные статистические методы предоставляют возможность при достаточно большом наборе данных определить значения «выпадающие» из данного распределения. Верхнюю границу «выпадающих» значений, рассматриваемую как экологически допустимый уровень (ЭДК2), можно найти по уравнению (2). Верхняя граница «выпадающих» значений рассматривается как экологически допустимый уровень для тех факторов, с возрастанием значений которых связано ухудшение экологического состояния. Отличительной чертой

рассмотренного подхода к экологическому нормированию допустимых уровней нагрузок на экосистемы является то, что анализу подвергается воздействие антропогенных факторов на реальные экосистемы, причем основой для такого анализа служат интегративные характеристики экосистем – экологические модификации. Согласно Д.Г. Замолодчикову, взаимодействие различных внешних факторов может существенно изменить картину влияния, однако в оценку ЭДК по данному бассейну входит сложившийся в нем характер взаимодействия факторов, что приводит к существенному различию ЭДК по одному фактору в разных бассейнах.

Согласно В.Н. Маркину и Е.В. Горбачевой, при проведении природоохранных мероприятий важно сохранить водный объект в состоянии, близком к естественному, с соответствующей способностью к самоочищению. Очевидно, что естественное состояние водного объекта сохранится в случае изменения концентрации конкретного вещества в воде в пределах естественного среднесуточного диапазона изменения концентраций, т.е. в случае изменения концентраций в пределах наиболее вероятного диапазона для естественных условий. В этом случае расчет ЭДКЗ проводится по формуле (3). Для последующих расчетов были использованы средние значения ЭДКС из трех величин – ЭДК1, ЭДК2 и ЭДК3. Наряду с изложенным, представлялось интересным выявить связь между величинами ЭДКС и кларками металлов в земной коре. Средние содержания (кларки) химических элементов в земной коре приведены в Таблице 6.

Таблица 6

Среднее содержание (кларки) химических элементов в земной коре %

Элементы	Порядковый номер	Кларк, масс.
Ртуть	80	$7,2 \cdot 10^{-6}$
Кадмий	48	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Молибден	42	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Мышьяк	33	$1,8 \cdot 10^{-4}$

Свинец	82	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Кобальт	27	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Медь	29	$5,3 \cdot 10^{-3}$
Цинк	30	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Никель	28	$7,0 \cdot 10^{-3}$
Хром	24	$9,3 \cdot 10^{-3}$
Марганец	25	$9,0 \cdot 10^{-2}$
Железо	26	5,33
Алюминий	13	8,07

Для характеристики распространенности химических элементов в земной коре используют понятие кларка - среднего значения относительного содержания химических элементов. Эта величина названа в честь американского химика Ф. У. Кларка, положившего в последние десятилетия XIX века начало статистическому изучению распространенности элементов. В более широком понимании кларк относят не только к земной коре, но также и к другим глобальным (например, растительность континентов) и космическим системам. Различия в кларках химических элементов очень велики. Условно элементы делят на две группы главные, с содержанием не менее 0,1 %, и рассеянные.

Чем больше кларк элемента, тем при сходных химических свойствах выше его содержание в природных водах, а, следовательно, и большая вероятность образования насыщенных растворах, осадения минералов. Редкие и особенно редкие рассеянные элементы, как правило, не насыщают природные воды, в связи с чем число их минералов невелико. Например, для кальция известно 385 минералов (кларк 2,96), а его химический аналог радий (кларк около 10⁻¹⁰) не образует ни одного собственного минерала. Аналогично калий (2,5) образует 106 минералов, а рубидий (0,015) – 0, сера (0,047) – 368, а ее аналог Se (5x10⁻⁶) – 37 и т.д.

В ландшафте в общем преобладают те же элементы, что и в земной коре, но все же их содержание в почвах, водах, организмах, как правило, отличается от кларка, хотя порядок величин нередко сохраняется.

Глава 3. Методы экологического нормирования.

Экологическое нормирование призвано оптимизировать взаимодействия человека с природой. Разработка нормативов проводится на основе последних научно-технических достижений и в соответствии с международными стандартами в сфере природоохранной деятельности.

Правовые основы экологического нормирования устанавливаются Федеральным законом РФ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. Согласно статье 19, экологического нормирования заключается в установлении нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, иных нормативов в области охраны окружающей среды, а также федеральных норм и правил и нормативных документов в области охраны окружающей среды.

Основные механизмы экологического нормирования включают:

- исследование обоснования нормативов в контексте природоохранной деятельности;
- установление условий разработки нормативов;
- проведение экспертизы на утверждение нормативов;
- контроль за применением нормативов;
- формирование информационной нормативной базы;
- прогнозирование экологических, экономических и социальных последствий применения утвержденных нормативов.

В вышеуказанном законе «Об охране окружающей среды» указаны следующие виды нормативов:

1. Нормативы качества окружающей среды устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов. При этом важно учесть природные особенности территорий и акваторий, назначение природных объектов и природно-антропогенных объектов, особо охраняемых территорий, в том числе особо охраняемых природных территорий, а также природных ландшафтов, имеющих особое природоохранное значение. Нормативы качества окружающей среды включают в себя:

- нормативы, установленные в соответствии с химическими показателями состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, включая радиоактивные вещества;
- нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды, в том числе с показателями уровней радиоактивности и тепла;

- нормативы, установленные в соответствии с биологическими показателями состояния окружающей среды, в том числе видов и групп растений, животных и других организмов, используемых как индикаторы качества окружающей среды, а также нормативы предельно допустимых концентраций микроорганизмов.

2. Нормативы допустимого воздействия устанавливаются для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду с учетом природных особенностей территорий и акваторий. Законодатель выделяет:

- нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов;
- нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение;
- нормативы допустимых физических воздействий (количество тепла, уровни шума, вибрации, ионизирующего излучения, напряженности электромагнитных полей и иных физических воздействий);
- нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды; нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду.

3. Нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов устанавливаются для стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду субъектами хозяйственной деятельности относительно нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технологических нормативов. Установление лимитов на выбросы и сбросы допускается только при наличии планов снижения выбросов и сбросов, согласованных с органами исполнительной власти, осуществляющими управление в сфере охраны окружающей среды.

4. Технологические нормативы устанавливаются для стационарных, передвижных и иных источников на основе использования наилучших существующих технологий с учетом экономических и социальных факторов.
5. Нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение также устанавливаются для предотвращения их негативного воздействия на окружающую среду.
6. Нормативы допустимых физических воздействий на окружающую среду устанавливаются для каждого источника подобного воздействия исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также учитывая влияния других источников физических воздействий.
7. Нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды - нормативы, установленные в соответствии с ограничениями объема их изъятия в целях сохранения природных и природно-антропогенных объектов, обеспечения устойчивого функционирования естественных экологических систем и предотвращения их деградации.
8. Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду устанавливаются для юридических лиц или индивидуальных предпринимателей в целях оценки и регулирования воздействия всех стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду, расположенных в пределах определенных территорий и акваторий.
9. Иные нормативы в сфере охраны окружающей среды, которые могут устанавливаться в целях государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, оценки качества окружающей среды.

Субъектами, деятельность которых подлежит нормированию, являются природопользователи – физические и юридические лица.

Разработка экологических нормативов наряду с разработкой критериальных основ требует существенного развития методов и методологии исследования индивидуальных свойств экосистем. Значительного совершенствования требуют методы и модели, используемые для количественного изучения таких важнейших, с точки зрения нормирования качества вод, процессов как формирование концентраций загрязняющих веществ в водном объекте. Речь идет о процессах смешения и разбавления сточных вод, а также о процессах трансформации загрязняющих веществ в водном объекте вследствие физико-химических, химических, биологических и биохимических превращений.

При экологическом нормировании и определении допустимых нагрузок загрязняющими веществами необходимо учитывать влияние вредных факторов не на отдельные организмы, а на реакцию биоценоза и экосистемы в целом. Здесь главным критерием является стабильность (устойчивость) экосистемы. Для каждой экосистемы должны быть выявлены собственные критерии качества природной среды, зависящие от экологического резерва данной экосистемы и от экологических возможностей региона (Израэль, 1984).

В основе разработки экологических нормативов лежит теоретическая концепция системного подхода к регулированию качества природной среды.

3.1. Концепция ассимиляционной емкости Ю.А. Израэля и А.В. Цыбань.

По определению Ю.А. Израэля и А.В. Цыбань (1983, 1985), ассимиляционная емкость водной экосистемы A_i по данному загрязняющему веществу i (или суммы загрязняющих веществ) и для m -й экосистемы — это максимальная динамическая вместимость такого количества загрязняющих веществ (в пересчете на всю зону или единицу объема водной экосистемы), которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано (биологическими или химическими превращениями) и выведено за счет процессов седиментации, диффузии или любого другого переноса за пределы объема экосистемы без нарушения ее нормального функционирования.

Уравнение динамики загрязняющего вещества в водной среде с учетом пространственной неоднородности процессов его удаления из экосистемы может быть записано в следующем виде (Владимиров и соавт., 1991):

$$V \frac{d\bar{C}_i}{dt} = \int_{S_a} (P_{A_i} \pm P'_{A_i}) dS + \int_L (P_{L_i} \pm P'_{L_i}) dL + \int_{S_b} (P_{B_i} \pm P'_{B_i}) dS + \int_{S_a} \int_0^{Z_b} B_{chi} k_{(z)} dz dS, \quad (2)$$

где V — объем рассматриваемой водной экосистемы, \bar{C}_i — среднее значение концентрации загрязняющего вещества, S_a — площадь свободной поверхности водного объекта, S_b — площадь дна, L — длина береговой линии, Z_b — глубина, P_i — величина, характеризующая процессы обмена i -го загрязняющего вещества через границу (например, атмосферное осаждение, биоседиментационный вынос и т. п.), B_{chi} — скорость микробиологического и химического разрушения i -го загрязняющего вещества, коэффициент $k_{(z)}$ учитывает зависимость B_{chi} от освещенности и температурных условий. Штрихами обозначены источники, описывающие химическую и биологическую трансформацию C_i в рассматриваемой пограничной области.

Из уравнения (2) методом теории размерностей суммарное удаление A_i загрязняющего вещества из водной экосистемы можно записать в виде

$$A_i = K_i \frac{V}{\tau_i} \bar{C}_i, \quad (3)$$

где K_i — коэффициент запаса, отражающий экологические условия протекания процесса загрязнения в различных зонах водной экосистемы; τ_i — время пребывания загрязняющего вещества в экосистеме.

В соответствии с определением ассимиляционной емкости, она равна максимальному значению левой части уравнения (2) при сохранении экологического благополучия в экосистеме. Это условие соблюдается при $C_i \leq C_{oi}$, где C_{oi} — критическая концентрация загрязняющего вещества в воде. Исходя из этого, ассимиляционная емкость может быть оценена по формуле (3) при $C_i = C_{oi}$.

Все величины, входящие в правую часть уравнения (3) можно оценить по данным, полученным в процессе долгопериодных комплексных исследований состояния водной экосистемы. При этом рекомендуется следующая последовательность определения ассимиляционной емкости к конкретным загрязняющим веществам:

- расчет балансов массы и времени жизни загрязняющего вещества в экосистеме;
- анализ биотического баланса в экосистеме;
- оценка критических концентраций воздействия загрязняющего вещества (или экологических ПДК) на функционирование биоты.

При экологическом нормировании антропогенных воздействий на водные экосистемы расчет ассимиляционной емкости наиболее репрезентативен, так как он учитывает критические концентрации воздействия загрязняющих веществ, имеющие более высокое экологическое обоснование по сравнению с санитарно-гигиеническими или рыбохозяйственными ПДК. При известной ассимиляционной емкости предельно допустимая экологическая нагрузка (ПДЭН) водного объекта

загрязняющим веществом рассчитывается достаточно просто. Так, при стационарном режиме загрязнения водного объекта ПДЭН будет равна ассимиляционной емкости (табл. 7).

Таблица 7

Ассимиляционная емкость экосистемы Балтийского моря
к загрязняющим веществам (Израэль и др., 1988)

Вещество	Современное поступление, т/год	Время пребывания в экосистеме, лет	Ассимиляционная емкость	
			мкг/г	т/год
Медь	1100	27	0,2–0,12	500–2500
Цинк	6300	10	0,60–3,10	13200–66000
Свинец	2400	7	0,10–0,70	1500–15000
Кадмий	80	6	0,10–0,90	2000–20000
Ртуть	30	6	0,02–0,20	400–4000
Бенз(а)пирен	13	20	0,001–0,008	20–200
ПХБ	7	35	0,0001–0,001	2–20

Приведенные в табл. 7 оценки ассимиляционной емкости зон открытой части Балтийского моря показывают, что существующий сток цинка, кадмия и ртути соответственно в 2, 20 и 15 раз меньше минимальных значений ассимиляционной емкости экосистемы к этим металлам и не представляет прямой опасности первичному продуцированию. Вместе с тем, поступление меди и свинца превышает их ассимиляционную емкость, что требует специальных мер по ограничению их поступления. Поступление бенз(а)пирена пока не достигло минимального значения ассимиляционной емкости, а ПХБ (полихлорированные бифенилы) превышает ее.

3.2 Биогеохимический подход С.А. Патины.

Один из распространенных подходов к определению критических точек основан на предположении, что критерием нормального состояния экосистемы является нормальный закон распределения ее переменных. В этом случае максимальные и минимальные критические значения ($X_{\text{КР}}^{\text{max}}$ и $X_{\text{КР}}^{\text{min}}$) находятся из соотношения:

$$\Phi\left(\frac{X_{\text{КР}}^{\text{min}} - X_{\text{КР}}^{\text{min}}}{\sigma_x}\right) = \frac{1 - P(\alpha)}{2}, \quad (4)$$

где Φ — функция нормированного нормального распределения; σ_x — среднеквадратическое отклонение; $P(\alpha)$ — вероятность соответствия нормальному закону (обычно P принимается равным 0,8; 0,95 или 0,99). Для малого числа наблюдений критические значения могут быть определены следующим образом:

$$X_{\text{КР}}^{\text{max}} = X_{\text{СР}} + k\sigma_x \text{ и } X_{\text{КР}}^{\text{min}} = X_{\text{СР}} - k\sigma_x, \quad (5)$$

где k — толерантный множитель, используемый в математической теории надежности (его значения табулированы для данного $P(\alpha)$ и числа наблюдений); $X_{\text{СР}}$ — среднее значение параметра.

В соответствии с основными положениями биогеохимии и геохимической экологии, организмы и биоценозы эволюционно адаптировались к химическим факторам среды. Из этого следует, что существующие в настоящее время средние концентрации металлов в Мировом океане оптимальны для его биотического населения, а крайние пределы отражают соответственно критические уровни недостаточного (если элемент необходим для жизнедеятельности) или избыточного (если элемент токсичен) содержания металлов в морской воде. Последний уровень является естественной, эволюционно обусловленной границей зоны

максимально допустимого содержания металла для всего населения Мирового океана.

Ориентируясь на вышеизложенное, С.А. Патиным был разработан биогеохимический подход к нормированию ПДК тех химических элементов, которые являются одновременно и естественными микрокомпонентами состава воды, и распространенными антропогенными примесями в морских экосистемах. Каждый из таких компонентов среды должен иметь свой биологически допустимый (толерантный) для гидробионтов диапазон концентраций в воде, в пределах которого организмы, их сообщества и популяции располагают возможностями оптимальной реализации своих физиологических, экологических и других функций. Границы диапазонов концентраций каждого элемента устанавливаются для океанических и морских условий, так как пределы колебаний и причины изменчивости содержания металлов в пелагиали океана и в морских бассейнах различны.

Количественная оценка биогеохимических порогов экологической толерантности (L) проводится по формулам:

$$L_B = C + 2S_L \text{ и } L_H = C - 2S_L, (6)$$

где L_B и L_H — верхний и нижний пороги экологической толерантности соответственно; C — средняя концентрация металла в морской воде; S_L — стандартное отклонение совокупности результатов, использованных для оценки C .

В отличие от рыбохозяйственных ПДК, устанавливаемых в основном по токсикологическому признаку вредности на уровне организмов и популяций, биогеохимические ПДК определяются даже не для отдельных видов и популяций, а для всей биоты морей и океанов с точки зрения устойчивости основных структурных и функциональных характеристик биоценозов, то есть на более высоком экосистемном уровне.

Согласно С.А. Патину (1979), токсичной концентрацией считается такая концентрация загрязняющих веществ, при которой относительные (по сравнению с контролем) значения выживаемости, плодовитости, роста и показателей биопродуцирования (включая скорости деления и фотосинтеза одноклеточных водорослей) достоверно снижаются более чем на 50% по сравнению с соответствующими показателями в контрольных экспериментах длительностью не менее 2–4 суток. К пороговым относят концентрации, которые изменяют аналогичные показатели, но в пределах до 50% и, главным образом, в хронических опытах, длительность которых соизмерима с продолжительностью жизненного цикла. В качестве максимально недействующей концентрации принимается такая концентрация токсичного вещества, при которой основные показатели жизнедеятельности гидробионтов в хронических экспериментах отклоняются не более чем на 25% от аналогичных показателей в контрольных опытах.

В общем токсический эффект рассматривается как результат взаимодействия трех основных факторов: организма (или совокупности организмов), концентрации токсичных веществ и времени. При этом изучают зависимость токсического эффекта от концентрации при фиксированном времени и изменение токсического эффекта во времени при определенной концентрации ксенобиотика в водной среде. По полученным результатам, кроме токсичных, пороговых и максимально недействующих (подпороговых) концентрациях, определяют LK_{50} — уровень, вызывающий летальный исход для 50% тест-объектов в острых опытах длительностью от 2 до 96 часов, и LK_{100} — уровень летальных концентраций в острых опытах (табл. 8).

Пороговые и допустимые уровни содержания (мкг/дм³)
загрязняющих веществ в морской фауне (Патин, 1979).

Загрязняющее вещество	Верхний биогеохимический порог экологической толерантности		МНД (по токсикологическим показателям)	ПДК для воды	
	для пелагиали океана	Для внутренних морей		океана	внутренних морей
Ртуть	0,1	1	0,1	0,1	1
Свинец	5	10	10	10	10
Кадмий	1	1–10	10	1	10
Цинк	50	50	10	50	50
Медь	5	5	1–5	5	5
Мышьяк	5	10	–	5	10
Железо	20	50	–	20	50
Никель	5	10	–	5	10
Кобальт	1	5	–	1	5
Растворенные нефтепродукты	–	–	10	10	10
ДДТ, ПХБ и др	–	–	0,01	0,01	0,01
Детергенты	–	–	10 ² –10 ³	10 ² –10 ³	10 ² –10 ³

3.3. Подход Д.Г. Замолодчикова.

При классификации экологических состояний автор опирался на метод экологических модификаций, включающий следующие градации оценки состояния экосистем:

- фоновое состояние;
- состояние антропогенного экологического напряжения;
- состояние антропогенного экологического регресса;
- состояние антропогенного метаболического регресса.

Согласно Д.Г. Замолодчикову, современные статистические методы предоставляют возможность при достаточно большом наборе данных определить значения «выпадающие» из данного распределения. Верхнюю границу «выпадающих» значений, рассматриваемую как экологически допустимый уровень (ЭДУ), можно найти по следующему уравнению:

$$\text{ЭДУ} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК}), \quad (7)$$

где ВК и НК — верхняя и нижняя квартили распределения.

Верхняя граница «выпадающих» значений рассматривается как экологически допустимый уровень для тех факторов, с возрастанием значений которых связано ухудшение экологического состояния.

На основе изложенного подхода автором были установлены ЭДУ для толщи воды рек шести бассейнов, что позволило провести их сравнение (табл. 9).

Таблица 9

Экологически допустимые уровни (мг/дм^3) в разных бассейнах и соответствующие ПДК (мг/дм^3) для некоторых гидрохимических показателей (Замолодчиков, 1993).

Показатель	ЭДУ для бассейна						ПДК
	Азов	Дунай	Днестр	Днепр	Сырдарья	Волга	
N-NH ₄	1,28	0,05	1,05	–	0,18	0,78	0,39

N-NO ₂	0,204	0,050	–	0,064	0,048	0,065	0,02
БПК ₅	6,00	4,60	4,48	4,57	3,79	–	3,00
Нефтепродукты	0,99	0,22	0,13	0,47	0,15	–	0,05
Медь	0,011	0,012	0,009	–	0,006	–	0,001
СПАВ	0,14	0,02	–	–	0,03	–	0,1
Пестициды, мкг/дм ³	–	0,006	–	–	0,056	–	отсутст вие
Общий фосфор	–	0,290	–	–	0,301	–	3,5

Из приведенных данных следует, что ЭДУ для одного и того же фактора (показателя состава и свойств воды) может существенно различаться для разных бассейнов (аммонийный азот, нефтепродукты, пестициды), а могут быть и весьма близкими (нитритный азот, биохимическое потребление кислорода, общий фосфор).

Отличительной чертой рассмотренного подхода к экологическому нормированию допустимых уровней нагрузок на экосистемы является то, что анализу подвергается воздействие антропогенных факторов на реальные экосистемы, причем основой для такого анализа служат интегративные характеристики экосистем — экологические модификации. Согласно Д.Г. Замолодчикову, взаимодействие различных внешних факторов может существенно изменить картину влияния, однако в оценку ЭДУ по данному бассейну входит сложившийся в нем характер взаимодействия факторов, что приводит к существенному различию ЭДУ по одному фактору в разных бассейнах.

Ограничения на использование предложенного подхода связаны со структурой исходных данных. Для корректного проведения анализа необходимо значительное количество объектов, для которых имеются оценки экологического состояния и значения факторов. Минимальное число объектов в классе составляет около десяти, так что для получения ЭДУ при

двух классах (благополучный и неблагоприятный) необходимо не менее двадцати объектов.

Кроме того, если среди исходных оценок отсутствует гетерогенность (например, все они одинаково благополучны или одинаково неблагоприятны), то определить ЭДУ невозможно.

Достоинством рассматриваемого подхода является то, что при наличии системы классификации экологических состояний он может быть применен к любым типам экосистем (водным и наземным).

3.4. Подход А.М. Никанорова и А.В. Жулидова.

Главными физико-химическими факторами, влияющими на ответ организма по отношению к токсикантам, являются: температура, растворенный кислород, рН, жесткость и щелочность воды, присутствие хелатирующих агентов и других загрязняющих воду веществ. В общем случае чувствительность к металлам понижается с увеличением рН и жесткости воды, а также с падением парциального давления кислорода. Возрастные размеры, питательный статус, акклиматизация — все это важные переменные, определяющие чувствительность животных и растений. Крупные экземпляры более устойчивы к отравлению.

Исследования А.М. Никанорова и А.В. Жулидова с различными пресноводными беспозвоночными привели их к выводу о целесообразности апробации единых предельно допустимых концентраций (или ЭДУ) цинка, кадмия и меди с учетом жесткости природных вод (табл. 10).

Рекомендуемые предельно допустимые концентрации
растворенных металлов в воде пресноводных экосистем

Жесткость, мг/дм ³	Кадмий, мкг/дм ³	Жесткость, мг/дм ³	Цинк, мкг/дм ³	Медь, мкг/дм ³
до 40	0,20	до 40	30,0	0,7
от 41 до 90	0,35	от 41 до 200	50,0	1,6
от 91 до 200	0,70	от 201 до 300	80,0	2,2
от 201 до 300	1,00	от 301 до 500	150	3,0
от 301 до 500	1,50	от 501 и выше	400	3,5
от 501 и выше	2,10	–	–	–

Результаты расчетов величин ЭДК1, ЭДК2, ЭДК3 и их средних значений (ЭДКС) приведены в таблице. Как видно из таблицы, наибольшие значения по всем веществам для всех водных объектов имеют концентрации, рассчитанные по биогеохимическому подходу, разработанному С.А. Патиным. Значения, рассчитанные по подходу Д.Г. Замолотчикова, а также по подходу В.Н. Маркина и Е.В. Горбачевой, в большинстве случаев близки между собой. Рассмотренные методы могут быть использованы для получения экологически допустимых концентраций веществ в реках Акмолинской области. Применение этих методов позволяет получить более объективные результаты по сравнению с федеральными предельно допустимыми концентрациями, так как при расчете учитываются различные природно-климатические условия региона, а также фоновые концентрации элементов в водных объектах.

Глава 4. Экологически допустимые концентрации металлов в некоторых озерах Казахстана.

Термин тяжелые металлы, характеризующий широкую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение. В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В связи с этим количество элементов, относимых к группе тяжелых металлов, изменяется в широких пределах. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. В некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоидам (например, мышьяк).

В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. Практически все металлы, попадающие под это определение (за исключением свинца, ртути, кадмия и висмута, биологическая роль которых на настоящий момент не ясна), активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов. По классификации Н.Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см^3 . Таким образом, к тяжелым металлам относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg.

Формально определению тяжелые металлы соответствует большое количество элементов. Однако, по мнению исследователей, занятых практической деятельностью, связанной с организацией наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды, соединения этих элементов

далеко не равнозначны как загрязняющие вещества. Поэтому во многих работах происходит сужение рамок группы тяжелых металлов, в соответствии с критериями приоритетности, обусловленными направлением и спецификой работ. Так, в ставших уже классическими работах Ю.А. Израэля в перечне химических веществ, подлежащих определению в природных средах на фоновых станциях в биосферных заповедниках, в разделе тяжелые металлы поименованы Pb, Hg, Cd, As. С другой стороны, согласно решению Целевой группы по выбросам тяжелых металлов, работающей под эгидой Европейской Экономической Комиссии ООН и занимающейся сбором и анализом информации о выбросах загрязняющих веществ в европейских странах, только Zn, As, Se и Sb были отнесены к тяжелым металлам. По определению Н. Реймерса отдельно от тяжелых металлов стоят благородные и редкие металлы, соответственно, остаются только Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В прикладных работах к числу тяжелых металлов чаще всего добавляют Pt, Ag, W, Fe, Au, Mn.

Ионы металлов являются неизменными компонентами природных водоемов. В зависимости от условий среды (рН, окислительно-восстановительный потенциал, наличие лигандов) они существуют в разных степенях окисления и входят в состав разнообразных неорганических и металлоорганических соединений, которые могут быть истинно растворенными, коллоидно-дисперсными или входить в состав минеральных и органических взвесей.

Истинно растворенные формы металлов, в свою очередь, весьма разнообразны, что связано с процессами гидролиза, гидролитической полимеризации (образованием полиядерных гидроксокомплексов) и комплексообразования с различными лигандами. Соответственно, как каталитические свойства металлов, так и доступность для водных микроорганизмов зависят от форм существования их в водной экосистеме.

Многие металлы образуют довольно прочные комплексы с органикой; эти комплексы являются одной из важнейших форм миграции элементов в природных водах. Большинство органических комплексов образуются по хелатному циклу и являются устойчивыми. Комплексы, образуемые почвенными кислотами с солями железа, алюминия, титана, урана, ванадия, меди, молибдена и других тяжелых металлов, относительно хорошо растворимы в условиях нейтральной, слабокислой и слабощелочной сред. Поэтому металлорганические комплексы способны мигрировать в природных водах на весьма значительные расстояния. Особенно важно это для маломинерализованных и в первую очередь поверхностных вод, в которых образование других комплексов невозможно.

Для понимания факторов, которые регулируют концентрацию металла в природных водах, их химическую реакционную способность, биологическую доступность и токсичность, необходимо знать не только валовое содержание, но и долю свободных и связанных форм металла.

Переход металлов в водной среде в металлокомплексную форму имеет три следствия:

1. может происходить увеличение суммарной концентрации ионов металла за счет перехода его в раствор из донных отложений;
2. мембранная проницаемость комплексных ионов может существенно отличаться от проницаемости гидратированных ионов;
3. токсичность металла в результате комплексообразования может сильно измениться.

Так, хелатные формы Cu, Cd, Hg менее токсичны, нежели свободные ионы. Для понимания факторов, которые регулируют концентрацию металла в природных водах, их химическую реакционную способность,

биологическую доступность и токсичность, необходимо знать не только валовое содержание, но и долю связанных и свободных форм.

Источниками загрязнения вод тяжелыми металлами служат сточные воды гальванических цехов, предприятий горнодобывающей, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов. Тяжелые металлы входят в состав удобрений и пестицидов и могут попадать в водоемы вместе со стоком с сельскохозяйственных угодий.

Повышение концентрации тяжелых металлов в природных водах часто связано с другими видами загрязнения, например, с закислением. Выпадение кислотных осадков способствует снижению значения рН и переходу металлов из сорбированного на минеральных и органических веществах состояния в свободное.

Таблица 11

Географические координаты и морфометрические характеристики.

Озеро	Географические координаты	Площадь озера, км ²	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м
Боровое	53°04' с.ш., 70°17' в.д.	10,00	3,2	4,00
Большое Чебачье	59°20' с.ш., 78°56' в.д.	21,61	8,3	31,60
Малое Чебачье	53°17' с. ш., 69°87' в.д.	19,80	6,3	10,93
Щучье	52°59' с.ш., 70°13' в.д.	19,60	18,5	31,00
Майбалык	53°15' с.ш., 70°13' в.д.	21,00	1,4	2,00

	в.д			
--	-----	--	--	--

Таблица 12

Величины экологически допустимых концентраций химических элементов в озерах Казахстана, мкг·дм⁻³

ЭДК	Fe _{ОБЩ}	Cu	Zn	Cr _{ОБЩ}	Hg	Al	Cd	Pb	As	Co	Mn	Ni	Mo
Озеро Боровое													
ЭДК ₁	379	7,2	11,5	3,0	0,04	326	2,7	4,5	2,5	3,7	73	4,4	4,7
ЭДК ₂	350	5,0	11,0	0,0	0,04	403	0,4	6,1	1,5	2,4	107	2,1	3,5
ЭДК ₃	274	4,4	7,5	1,6	0,03	226	1,5	3,1	1,7	2,2	51	2,9	3,3
среднее	334	5,5	10,0	1,5	0,04	318	1,5	4,6	1,9	2,8	77	3,1	3,8
Озеро Большое Чебачье													
ЭДК ₁	432	7,3	11,8	4,2	0,03	285	1,6	2,7	3,5	1,0	69	4,1	6,7
ЭДК ₂	369	4,6	11,8	4,1	0,04	325	0,3	2,6	4,9	1,0	93	4,2	6,7
ЭДК ₃	283	4,5	8,1	2,6	0,03	203	1,0	1,9	2,5	0,6	46	2,9	4,9
среднее	361	5,5	10,6	3,6	0,03	271	1,0	2,4	3,6	0,9	69	3,7	6,1
Озеро Малое Чебачье													
ЭДК ₁	313	6,7	10,6	6,0	0,04	387	0,99	3,3	7,9	3,6	102	3,5	6,8
ЭДК ₂	150	4,1	9,1	3,6	0,06	563	0,19	4,3	12,1	2,5	88	3,0	8,2
ЭДК ₃	228	4,4	6,9	3,6	0,03	278	0,57	2,3	5,4	2,4	67	2,5	4,8
среднее	230	5,1	8,9	4,4	0,04	409	0,58	3,3	8,5	2,8	86	3,0	6,6
Озеро Щучье													
ЭДК ₁	566	6,7	10,1	6,1	0,04	304	0,97	7,7	3,9	5,7	79	8,7	12,9
ЭДК ₂	361	5,0	9,5	2,5	0,04	425	0,41	4,2	2,9	1,1	90	2,9	15,8
ЭДК ₃	370	4,2	7,1	3,5	0,03	216	0,61	4,8	2,9	3,2	54	5,5	9,2
среднее	432	5,3	8,9	4,0	0,04	315	0,66	5,6	3,2	3,3	74	5,7	12,6
Озеро Майбалык													
ЭДК ₁	406	5,0	7,9	5,9	0,05								
ЭДК ₂	371	4,8	6,4	2,5	0,06								
ЭДК ₃	278	3,4	5,4	3,5	0,03								
среднее	352	4,4	6,6	4,0	0,05								

Таблица 13

Аналитические зависимости между ЭДКС и кларками металлов в земной коре

Озеро	Аналитическое выражение	Статистические характеристики
Боровое	$\ln[\text{ЭДКС}] = 4,642 + 0,518 \cdot \ln[\text{кларк}]$	$N = 13; r = 0,904; r^2 = 0,818; \sigma_Y(X) = 1,08; FP/FT = 10,4$
Большое Чебачье	$\ln[\text{ЭДКС}] = 4,650 + 0,526 \cdot \ln[\text{кларк}]$	$N = 13; r = 0,894; r^2 = 0,799; \sigma_Y(X) = 1,16; FP/FT = 9,2$

Малое Чебачье	$\ln[\text{ЭДКС}] = 4,749 + 0,515 \cdot \ln[\text{кларк}]$	$N = 13; r = 0,898; r^2 = 0,807; \sigma_Y(X) = 1,11; FP/FT = 9,7$
Щучье	$\ln[\text{ЭДКС}] = 4,896 + 0,526 \cdot \ln[\text{кларк}]$	$N = 13; r = 0,913; r^2 = 0,833; \sigma_Y(X) = 1,04; FP/FT = 11,6$
Майбалык	$\ln[\text{ЭДКС}] = 4,806 + 0,654 \cdot \ln[\text{кларк}]$	$N = 5; r = 0,997; r^2 = 0,993; \sigma_Y(X) = 0,30; FP/FT = 57,6$

Примечание. N – количество металлов, использованных при построении регрессионного уравнения, r – коэффициент корреляции (теснота связи между переменными), r² – коэффициент детерминации (объяснимая доля разброса), FP – расчетное значение критерия Фишера, FT – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95%.

Результаты расчетов величин ЭДК1, ЭДК2, ЭДК3 и их средних значений (ЭДКС) приведены в табл. 12. При математико-статистической обработке данных, приведенных в таблицах 12 и 13, были выявлены статистически значимые зависимости между величинами ЭДКС и кларками металлов в земной коре (табл. 13). Как следует из приведенных статистических характеристик, все аналитические уравнения адекватны (FP > FT) и могут быть использованы для предсказания величин ЭДКС для тех металлов, кларки которых не были использованы при выявлении регрессионных уравнений, так как FP / FT > 4. При анализе таблицы 13 обращает на себя внимание незначительная вариабельность угловых коэффициентов (от 0,515 до 0,560 для всех рассмотренных озер, кроме озера Майбалык).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель проведенного исследования заключалась в разработке экологически допустимых концентраций (ЭДК) металлов в некоторых озерах Казахстана. Для достижения этой цели были собраны, обобщены и проанализированы методы определения экологически допустимых концентраций металлов, рассчитаны экологически допустимые концентрации металлов в некоторых озерах Казахстана и выявлены количественные соотношения между величинами ЭДК и кларками.

В работе были рассмотрены пять озер Казахстана. Первичные данные для анализа были заимствованы из ежегодников химической лаборатории государственного предприятия «Центр гидрометеорологического мониторинга» РГП Казгидромет, входящего в состав Министерства экологии и охраны окружающей среды Республики Казахстан с 2004 по 2012 годы. Из литературных источников были заимствованы данные о содержании металлов в озерах Боровое, Большое Чебачье и Малое Чебачье, Щучье, Майбалык Щучье-Боровской курортной зоны Акмолинской области.

Для установления экологически допустимых концентраций (ЭДК) металлов были использованы три варианта расчетов (метод С.А. Патины, метод Д.Г. Замолодчикова, метод В.Н. Маркина и Е.В. Горбачевой).

ВЫВОДЫ

1. В последние десятилетия система ПДК подвергается справедливой и аргументированной критике и наметилась тенденция к оценке состояния водных объектов с точки зрения не потребностей конкретного природопользователя, а с позиций сохранения структуры и функциональных особенностей гидроэкосистемы. Федеральные ПДК не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических

провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений), а значит, и их токсикорезистентность.

2. Оценка качества поверхностных вод на основе общефедеральных ПДК полностью игнорирует не только своеобразие и уникальность водосборов, но и естественное их природное разнообразие.

3. Для расчётов экологически допустимых концентраций металлов в пяти озёрах Казахстана (Боровое, Большое Чебачье, Малое Чебачье, Щучье, Майбалык) были использованы три различных методики (С.А. Пати́на, Д.Г. Замолодчикова, В.Н. Маркина и Е.В. Горбачёвой). Установлено, наибольшие значения ЭДК для всех рассмотренных металлов имеют концентрации, рассчитанные по биогеохимическому подходу С.А. Пати́на. Значения ЭДК, рассчитанные по методике Д.Г. Замолодчикова, а также по методике В.Н. Маркина и Е.В. Горбачёвой, в большинстве случаев близки между собой.

4. Выявлены статистически значимые зависимости между усредненными по трём методикам величинами ЭДК и кларками металлов в земной коре. Все аналитические уравнения адекватны и могут быть использованы для предсказания величин ЭДК для тех металлов, кларки которых не были использованы при построении регрессионных уравнений.

5. Рассчитанные величины ЭДК металлов для озёр Казахстана целесообразно использовать для оценки качества воды, так как они учитывают региональные особенности рассмотренных водных объектов.