

**ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д. 25.06.311**

**На правах рукописи**

**УДК 556.556:631.6.02(575.2)**

**ШАБУНИН АНТОН ГЕННАДЬЕВИЧ**

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ЕГО БАССЕЙНЕ**

**Специальность:** 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы,  
гидрохимия

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек – 2006

Работа выполнена в Институте водных проблем и гидроэнергетики  
Национальной Академии Наук Кыргызской Республики  
(ИВПиГЭ НАН КР)

Научный руководитель: доктор технических наук, академик  
Мамаатканов Д.М.

Официальные оппоненты: д.г.н., проф. Глазырин Глеб Евлампиевич  
д.т.н. Джаныбеков Чаболдай Джаныбекович

Ведущая организация (предприятие): Кыргызско-Российский (Славянский)  
Университет КРСУ), кафедра гидротехнического строительства и водных  
ресурсов факультета архитектуры, строительства и дизайна

Защита состоится "16" июня 2006г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Диссертационного  
Совета Д25.06.311 при ИВПиГЭ НАН КР.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИВПиГЭ НАН КР по  
адресу: 720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе 533. E-mail: iwp@istc.kg  
Телефон: 214564, факс: 210674.

Автореферат разослан « 15 » мая 2006 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук



Т. В. Тузова

## Общая характеристика диссертации

**Оценка современного состояния проблемы.** Мировая практика убедительно свидетельствует, что устойчивое человеческое развитие во многом определяется наличием водных ресурсов, их качеством и доступностью. Особенно актуально проблема водных ресурсов обозначилась в последние десятилетия в связи с все более интенсивным их использованием, а следовательно, и их истощением и повсеместным загрязнением. Девятнадцатая специальная сессия Генеральной Ассамблеи ООН, состоявшаяся в Нью-Йорке в июне 1997 г., призвала к приданию наивысшего приоритета решению проблем водных ресурсов, а разработка соответствующих документов была поручена таким учреждением ООН, как Комиссия по Устойчивому развитию, Всемирная метеорологическая организация, ЮНЕСКО.

Внутренние водоемы являются одним из важнейших видов водных ресурсов. Крупнейшие из них, таковым для Кыргызской Республики (КР) является озеро Иссык-Куль, требуют к себе особого внимания как со стороны руководства государства, так и ученых-исследователей, т.к. экологическая уязвимость бассейна усугубляется бессточностью водоема, а следовательно, повышенной чувствительностью к любым техногенным нагрузкам. В условиях Иссык-Куля, это проявляется прежде всего в резких колебаниях уровня, что существенно сказывается на гидродинамике озера.

Изучение гидродинамики водоема важно для оценки ее влияния на его биологию и экологию. Ведь именно движение воды в озере во многом обеспечивает биологическую жизнедеятельность водоема, доставляя кислород и питательные вещества населяющим Иссык-Куль гидробионтам. Зная направления перемещения водных потоков в озере, их мощность и скорость передвижения, можно прогнозировать распространение по акватории загрязняющих веществ. Особенно актуальны такие знания в чрезвычайных ситуациях, таких, как Барскаунская авария в мае 1998 г., повлекшая за собой поступление в Иссык-Куль значительного количества цианидов.

Не менее важны исследования режима уровня воды в Иссык-Куле. Длительное понижение уровня озера, продолжавшееся с середины XIX столетия до 1998 г., привело к значительному ухудшению экологической ситуации в бассейне (В.М. Плоских и В.П. Макрынин, 1997). Начавшийся в 1999 г. и продолжающийся в настоящее время подъем уровня озера также повлек за собой отрицательные последствия: подтопление прибрежных строений, размыв и уничтожение природных пляжей и прибрежной растительности и т.п. Все сказанное характеризует важную роль гидродинамики озера в формировании экологической обстановки в нем и его бассейне и определяет **актуальность работы.**

**Тема диссертационной работы** связана с Международной Программой по рациональному использованию и охране внутренних водоемов при ЮНЕСКО, а также с проектом НИР ИВПиГЭ НАН КР “Водно-экологическая ситуация Иссык-Кульского бассейна в условиях глобального потепления климата: научная оценка, прогноз развития, меры по смягчению негативных последствий” (2003-2005 гг.).

**Цели исследований** – установить основные закономерности вдольберегового переноса вод, выявить механизм водообмена глубинных вод центральной зоны озера, обозначить границы экологически безопасных колебаний уровня Иссык-Куля для современных условий, чем способствовать экологической устойчивости водоема.

В задачи работы входило:

1. Сформировать базы данных имеющихся параметров течений, уровня воды в оз. Иссык-Куль и метеозаписей на побережье.
2. Установить закономерности режима течений в прибрежной и глубоководной зонах озера;
3. Оценить качество прогнозов изменений уровня воды в озере в последние десятилетия и на перспективу.
4. Выявить механизм водообмена глубинных вод.
5. Проанализировать периодические колебания уровня озера (сейши), фиксируемые самописцами на постах.
6. Оценить влияние изменения горного оледенения в Иссык-Кульской котловине на уровень воды в озере.
7. Определить границы экологически безопасных колебаний уровня озера.

**Научная новизна** работы состоит в:

- раскрытии механизма водообмена глубинных вод озера и роли термического бара в этом механизме;
- разработке нового метода оценки вдольберегового переноса вод оз. Иссык-Куль;
- впервые найденном доказательстве необходимости учета сокращения баланса массы горного оледенения при оценке безвозвратных потерь влаги из Иссык-Кульской котловины и оценки влияния этого сокращения на уровень воды в озере;
- количественной оценке теплозапасов водной массы оз. Иссык-Куль;
- установлении и обосновании амплитуды экологически безопасных колебаний уровня озера в связи с резким его подъемом в 1999–2005 гг.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что результаты данного исследования найдут применение в поиске путей и разработке мер по улучшению экологической ситуации в Прииссыккулье, прогнозных раз-

работках переноса и распределения по акватории загрязняющих веществ, в перспективных водно-балансовых расчетах при оценке доли ледниковой составляющей в стоке впадающих в озеро рек и безвозвратных потерь влаги из котловины.

Результаты исследований введены в практику работ экологического информационного центра биосферной территории “Ысык-Кель” и применяются на Иссык-Кульской биологической станции им. А.О. Конурбаева Биолого-почвенного Института НАН КР при биологических обоснованиях хозяйственных мероприятий на озере.

На защиту выносятся:

- выявленные закономерности структуры и режима течений прибрежной зоны озера Иссык-Куль;
- механизм водообмена глубинных вод центральной зоны озера;
- обоснования увеличения температуры и теплозапасов водной массы озера в связи с изменениями климата;
- экологически безопасные пределы колебаний уровня озера в современных условиях.

**Личный вклад соискателя.** Автор принимал непосредственное участие в экспедиционных работах на озерах Иссык-Куль в течение последних 5 лет (2001-2005 гг.) в рамках работ по проектам АПЕЛИК – «Оценка и прогноз изменений окружающей среды на озере Иссык-Куль» и МНТЦ КР 330.3 – «Изучение водного баланса и гидродинамики озера Иссык-Куль изотопными методами». Ему принадлежит создание баз данных, использованных при написании работы, методы их обработки и интерпретации. Во всех случаях, когда использовались методы, принадлежащие другим авторам, или созданные в соавторстве, в тексте имеются соответствующие ссылки.

**Апробация результатов диссертации.** Материалы диссертации и ее отдельные фрагменты докладывались на Международной конференции “Использование географических информационных систем и симуляционных моделей для исследования и принятия решений в бассейнах рек Центральной Азии” (Ташкент, 2004); Международной научно-практической конференции “ГИС в Центральной Азии” (Бишкек, 2005); на техническом Совете Главного Управления по гидрометеорологии МЭиЧС (Бишкек, 2006).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 10 научных статей. Из них 5 в зарубежных изданиях и 4 работы единоличных.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка использованной литературы из 95 наименований. Объем работы – 114 страниц, включая 14 таблиц и 36 рисунков.

Соискатель выражает глубокую благодарность научному руководителю и коллегам по работе, чьи советы, консультации и практическая помощь содействовали написанию диссертации.

Во **введении** показана роль гидродинамики в функционировании озера и формировании экологической обстановки в его бассейне, приводится краткая аннотация современного состояния изученности гидродинамических процессов оз. Иссык-Куль, обосновывается необходимость разработки темы диссертации.

В **первой главе** приводится обзор сведений об Иссык-Куле, связанных с содержанием работы, излагается краткая история исследования динамики вод озера, его водного и урванного режимов.

По современным данным (В.А. Кузмиченко, 2005), оз. Иссык-Куль имеет следующие морфометрические характеристики: площадь поверхности озера – 6249,4 км<sup>2</sup>, максимальная глубина – 668 м, средняя глубина – 278,3 м, объем озера – 1739,1 км<sup>3</sup>.

Вода в Иссык-Куле солоноватая, с общей минерализацией около 6 г/кг. Состав – хлоридно-сульфатно-натриево-магниевый, реакция воды – щелочная с рН = 8,6-8,9 (В.К. Кадыров, 1986).

По данным каталогизации ледников, площадь оледенения в 60-х годах XX века в бассейне Иссык-Куля составляла 650,4 км<sup>2</sup>, а объем пресной воды, сосредоточенной в ледниках, оценивался в 48 км<sup>3</sup> (А.Н. Диких, 2000). Эта величина почти в 13 раз превышает объем годового стока всех рек бассейна.

Первое научно-географическое описание озера и его бассейна было составлено почти полтора века назад П.П.Семеновым (Тянь-Шанским), побывавшим на Иссык-Куле в 1856-1857 гг. Им было установлено, что озеро не имеет стока и уровень его понижается. Позже озеро было обследовано целым рядом исследователей: Н.А.Северцовым, И.В.Мушкетовым, Г.В.Романовским и некоторыми другими.

Первые сведения о некоторых элементах динамики вод (течениях, волнении, сейшах) даны В.П. Матвеевым (1935), который указывает на существование в Иссык-Куле круговой системы течений, направленных против хода часовой стрелки.

В.М. Букин (1974), Я.С. Ставиский и Т.П. Овчаренко (1978), Г.Д. Шабунин (1984), В.В. Романовский (1990) применяли для изучения течений оз. Иссык-Куль динамический метод и специальные почтовые карточки. Оба метода подтвердили преобладание в поверхностных слоях озера циклонической циркуляции и показали достаточно хорошую сходимость результатов. В те же годы были начаты инструментальные измерения позволившие регистрировать параметры течений не только у поверхности озера, но и на различных глубинах.

С 80-х годов XX столетия гидродинамические процессы в оз. Иссык-Куль исследуются методами математического моделирования. В.П. Кочергин и др. выполнили расчеты среднегодовой циркуляции вод озера (В.В. Романовский и др., 2004). Б.В. Архипов и В.И. Ревякин (1986, 1987) разработали трехмерную нестационарную нелинейную численную модель оз. Иссык-Куль. В настоящее время, в рамках выполнения работ по проекту КР-330.3, математическая модель крупномасштабного перемешивания воды в озере разработана С.Н. Скляром.

Наиболее полная сводка материалов по истории гидрометеорологических наблюдений в Иссык-Кульской котловине и на озере, с момента их организации и до середины 70-х годов XX столетия, дана в работе «Гидрометеорологическая служба Киргизской ССР» (1976). Первая метеостанция (ГМС) на территории Кыргызстана была открыта русским путешественником Н.А. Северцовым в 1856 г. в селе Ак-Су на Иссык-Куле. В 1881 г. открывается метеостанция Каракол, а в 1894 г. – Балыкчи (Рыбачье). В 80-х годах XX столетия количество ГМС, работающих в Иссык-Кульской котловине, достигает десяти, но в настоящее время действующими остались лишь четыре: Балыкчи, Чолпон-Ата, Кызыл-Суу и Чон-Ашу.

Первый озерный гидрологический пост (ОГП), начавший инструментальные наблюдения за уровнем оз. Иссык-Куль, был открыт в 1926 г. в г. Балыкчи. В 1936 и 1947 гг. открываются посты Тамга и Сухой Хребет. С 1958 г. по 1990 г. на озере одновременно функционировало 6-7 ОГП. В настоящее время таких постов четыре: на западном побережье – пост Балыкчи, на восточном – Койсары, на южном – Тамга, и на северном – Чолпон-Ата.

С 1961 г., после получения первого судна Кыргызгидромет проводит круглогодичные наблюдения на акватории оз. Иссык-Куль за температурой воды в верхнем 100-метровом слое озера, прозрачностью и цветом воды, волнением. Параллельно ведется регистрация основных метеорологических элементов. В период 1975-1986 гг. эти наблюдения дополняются периодически наблюдениями за течениями в оз. Иссык-Куль.

При написании настоящей работы использовались: результаты уже опубликованных по теме диссертации исследований; материалы наблюдений на ГМС и ОГП; опубликованные и фондовые данные судовых рейсовых наблюдений на акватории озера, полученные Кыргызгидрометом; результаты, полученные с участием автора в 2001-2005 гг. при выполнении работ на Иссык-Куле по проектам АПЕЛИК и КР-330.3.

**Вторая глава** посвящена исследованиям закономерностей структуры и режима течений в озере, оценке объемов вдольберегового переноса вод, выявлению механизма водообмена глубинных вод центральной зоны озера, исследованию сейшевых колебаний уровня воды в озере методом спектрального анализа.

Результаты предыдущих исследований (В.В. Романовский, 1990; Г.Д. Шабунин, 1984; В.В. Ревякин, 1987 и др.) показали, что вращение основной водной массы озера носит циклонический знак. Донный рельеф несколько нарушает эту закономерность, а продолжительные штормовые ветры способны кардинально изменить картину течений в озере.

В фондах Кыргызгидромета хранятся полевые книжки наиболее массовой серии (более 8 тыс.) инструментальных измерений течений в оз. Иссык-Куль, выполненных в 1982-1986 гг. Все материалы этих измерений обобщены автором с использованием инновационных технологий. Измерения проводились в прибрежной зоне озера с глубинами от 10 м до 100 м, на 35 постоянных гидрологических вертикалях, объединенных в 8 гидрометрических створов (рис. 1). Каждый створ состоял из 4-5 вертикалей, измерения на каждой из них выполнялись ежемесячно до придонного горизонта на глубинах 4, 6, 10, 20, 40, 60 и 100 м. Направление и скорость течения на горизонте измерялись приборами БПВ-2р и ГР-42, позволяющими гарантировано регистрировать скорости течения от 3 см/с и выше.

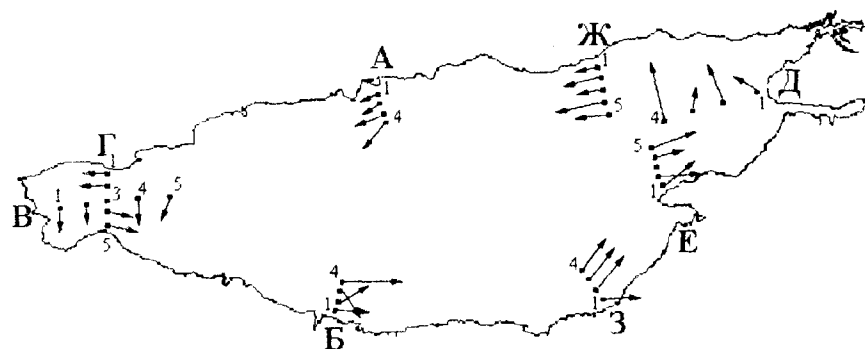


Рис. 1. Схема расположения гидрометрических створов: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, положение и нумерация гидрологических вертикалей на них. В качестве примера показана схема векторов течений на горизонте 4 м в апреле 1985 г.

Прежде всего, были построены схемы векторов течений для каждого глубинного горизонта. Одна из таких схем, подтверждающая наличие в озере циркуляции циклонического знака на глубине 4 м, приведена на рис. 1.

Статистическая обработка результатов измерений с помощью компьютерных технологий позволила рассчитать повторяемость направлений течения

как на каждой из 35 вертикалей, так и в целом для каждого из 8 гидрометрических створов. На рис. 2 приведен график повторяемости направлений течения для каждой из четырех вертикалей створа «А» (северное побережье) и в целом для всего створа «Б» (южное побережье), включающего также четыре вертикали. Рис. 2, подтверждая преобладание у северного и южного побережий озера циклонической циркуляции вод, демонстрирует и количественные характеристики такого преобладания в створах А и Б. Аналогичное створу А распределение повторяемости направлений течения получено для створа Ж и противоположное – для створов З и Е. В мелководном Рыбачинском заливе (створы В и Г) направление циркуляции вод часто меняется, но продолжительность циклонического вращения примерно в три раза превышает продолжительность антициклонического.

Обнаружена еще одна важная закономерность – с ростом скорости волный поток становится более «упорядоченным» по направлению. Подтверждением сказанному может служить рис. 3, на котором прослеживается зависимость направления течения от скорости в створе Ж.

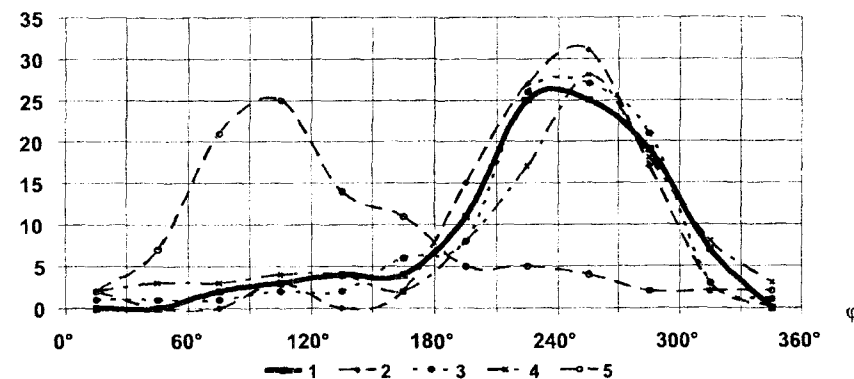


Рис. 2. Повторяемость (%) направлений течения ( $\varphi$ ) на вертикалях 1, 2, 3, 4 створа А и в целом для створа Б – 5 за период 1982-1986 гг.

При малых скоростях течения (до 10 см/с) его направление может быть самым разнообразным – от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . При скоростях течения от 10 см/с до 20 см/с диапазон разброса точек сужается, а при скоростях более 20 см/с все точки (за исключением двух) укладываются в диапазон  $220^\circ$ - $280^\circ$ .

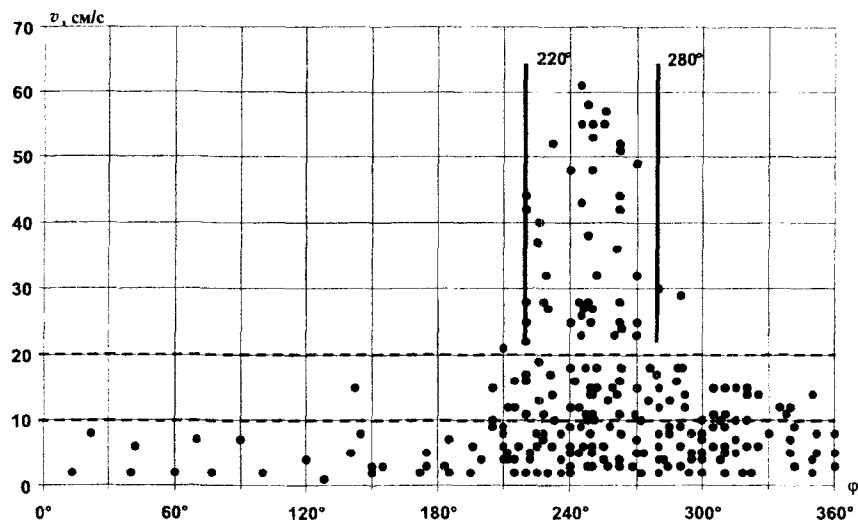


Рис. 3. Распределение направлений течения ( $\varphi$ ) в зависимости от его скорости ( $v$ ) для створа Ж в 1984 г.

Статистическое распределение преобладающих скоростей течений в озере свидетельствует о том, что достаточно высок процент повторяемости течений скоростью  $< 3$  см/с (в среднем 15,2 %). Чаще всего в озере регистрировались течения со скоростью 3-10 см/с, (54,4 %). Течения со скоростью  $> 10$  см/с зарегистрированы примерно в 30 % случаев, а  $> 30$  см/с – менее, чем в 1,5 % случаев.

По данным о направлении и скорости течения в прибрежных створах были рассчитаны расходы ( $Q$ ) вдольбереговых водных потоков в озере. Именно от мощности этих потоков зависит интенсивность переноса растворенных, взвешенных и загрязняющих веществ, поступающих с берега. Учитывая тот факт, что один и тот же створ в одно и то же время часть водного потока может пересекать в одном направлении, а другая часть – в противоположном, расход рассчитывался как сумма векторов течений, взвешенных по площадям элементарных сечений. Так были рассчитаны расходы воды для створов А, Б, Е, Ж и З на каждую дату измерений в период 1982-1986 гг. Для створов В, Г и Д расходы не вычислялись, т.к. они расположены на периферии общего циклонического круговорота вод озера.

Максимальное из всех замеренных в 1982-1986 гг. значение расхода воды было зарегистрировано 29 августа 1984 г. в створе Ж и равнялось  $64000$  м<sup>3</sup>/с. Скорости течения в створе Ж на эту дату доходили до 61 см/с.

Важнейшим фактором переноса растворенных веществ в оз. Иссык-Куль является обмен между поверхностными и глубинными водами. В диссертации исследован механизм водообмена, обусловленный адвекцией водной массы, формирующейся зимой в прибрежной зоне, в глубоководную зону озера. Физическая сущность механизма такого водообмена заключается в следующем.

В период декабрь-март на мелководных прибрежных участках в западной и восточной частях озера формируется термический бар. Температура воды в зоне действия термобара близка к температуре максимальной плотности иссыккульской воды (2,6 °С). В то же время температура воды в открытой части озера, даже на максимальных глубинах, не опускается ниже 4,3 °С, т.е. вода здесь менее плотная, чем в зоне термобара. Наиболее плотная вода, поступающая из зоны термобара, скапливается в виде «сгустков» на дне иссыккульских каньонов, простирающихся до глубины 110 м. Она распространяется затем вдоль каньонов к глубоким областям в центре озера, погружаясь на глубины, соответствующие плотности «сгустка». Подтверждением описанному механизму служат результаты Ф. Питерса и Р. Кипфера (2002), обнаруживших сгустки плотности на дне каньонов рек Тюп и Джергалан во время экспедиции в марте 2001 г., а данные по транзитным трассерам <sup>3</sup>H, <sup>3</sup>He и SF<sub>6</sub> показали снижение возраста воды в центре озера на глубинах около 500 м. Этими же исследователями по данным STD-измерений выявлено, что потенциальная плотность воды на дне каньонов превышала ее значения в глубинной центральной части озера.

Отметим еще одну важную особенность проведенных с участием автора исследований. В 1981-1988 гг., в зоне максимальных глубин (650 м), температура воды варьировала в пределах 3,7°-4,1°С (В.В. Романовский, 1990). В 2003г. она оказалась равной 4,39°, в 2004 г. – 4,44°, в 2005 г. – 4,48°. Такое повышение температуры глубоких вод вероятнее всего является следствием глобального потепления. Подтверждением этому служит как длительное повышение февральских поверхностных температур воды в озере (V.V. Romanovsky and G.D. Shabunin, 2002), так и рассчитанное нами повышение среднегодовой температуры воздуха на ГМС котловины, составившее 1,0-1,5 °С за последние 45 лет.

Одним из наиболее характерных видов движения воды в озерах являются сейши или длиннопериодные стоячие волны. На оз. Иссык-Куль сейши уже изучались (Т.П. Овчаренко и Я.С. Стависский, 1978; В.В. Романовский, 1985 и др.). Недостатком предыдущих исследований явилось то, что не анализировалась синхронность колебаний уровня по всем ОГП, а в некоторых случаях (Т.П. Овчаренко и Я.С. Стависский, 1978), расчет периодов и амплитуд сейш производился по лентам самописцев уровня воды (СУВ) без критичес-

кого анализа. В то же время, известно, что сейши в озерах существуют вместе с другими видами колебаний уровня и на лентах СУВ обычно фиксируется интегральный результат наложения нескольких колебаний с различным периодом и амплитудой. Прямой анализ записей на лентах СУВ иногда приводил к ошибкам (А.Г. Шабунин и Г.Д. Шабунин, 2004).

Учитывая сложную природу колебаний уровня воды в озере, сейшевая составляющая была выделена нами методом спектрального анализа. В расчетах использовались три серии синхронных записей СУВ "Валдай" на 7 озерных постах продолжительностью от 24 до 36 часов, что позволило исследовать составляющие колебаний уровня во временных масштабах от нескольких минут до нескольких часов.

Результаты спектрального анализа подтвердили наличие в озере одной и двухузловой продольных сейш с периодами 1 ч. 56 мин. и 54 мин., а также выявили колебания уровня с периодами 2 ч. 07 мин. и 2 ч. 20 мин. природа которых не установлена.

В третьей главе диссертации исследуются изменения уровня Иссык-Куля в последние десятилетия и результаты их прогнозов, влияние сокращения горного оледенения в котловине на уровень воды в озере, экологически безопасные колебания уровня.

Инструментальные наблюдения за уровнем оз. Иссык-Куль охватывают период 1927-2005 гг. Внутри этого периода можно условно выделить две фазы – снижения уровня озера (1927-1998 гг.) и его подъема (с 1999 г. до настоящего времени). В течение 1927-1998 гг. уровень озера понизился на 330 см, а за короткий семилетний период 1999-2005 гг. повысился уже на 76 см.

Известны четыре варианта прогноза хода уровня оз. Иссык-Куль, составленных в 70-80-х годах XIX столетия на период до 2000 г. Это прогнозы Д.Я. Ратковича (1977) и В.В. Романовского (1979) на период 1975-2000 гг. и прогнозы В.М. Денисова (1981) и Т.П. Гронской (1983) на период 1980-2000 гг. Спрогнозированные этими авторами уровни озера существенно отличаются от фактических (рис. 5), и результаты прогнозов нельзя признать удовлетворительными.

На период после 2005 г., ход уровня Иссык-Куля рассчитан В.М. Денисовым (1981) и В.В. Романовским (В.В. Романовский и др., 2004). Оба автора прогнозируют снижение уровня озера в будущем. Оправдываемость прогноза В.М. Денисова в последние годы видна из рис. 5. По прогнозу В.В. Романовского за 2003-2005 гг. уровень должен был понизиться на 24 см, фактически же он повысился на 20 см.

Из-за потепления климата в последние десятилетия площадь оледенения в регионе ежегодно сокращается на 0,5-1 %, а толщина ледников уменьшает-

ся на 40-70 см/год (А.Н. Диких, 2000, 2001 и др.). Как показали расчеты, в период 1957-1997 гг. талые воды ледников, образовавшиеся в результате сокращения оледенения, повышали уровень Иссык-Куля в среднем на 4 см/год. В этот же период уровень озера понижался со скоростью 4,3 см/год. Следовательно, без деградации оледенения, обеспечивающего дополнительную подпитку озера ледниковыми водами, темпы снижения уровня Иссык-Куля за период (1957-1997 гг.) составили бы вдвое большую величину.

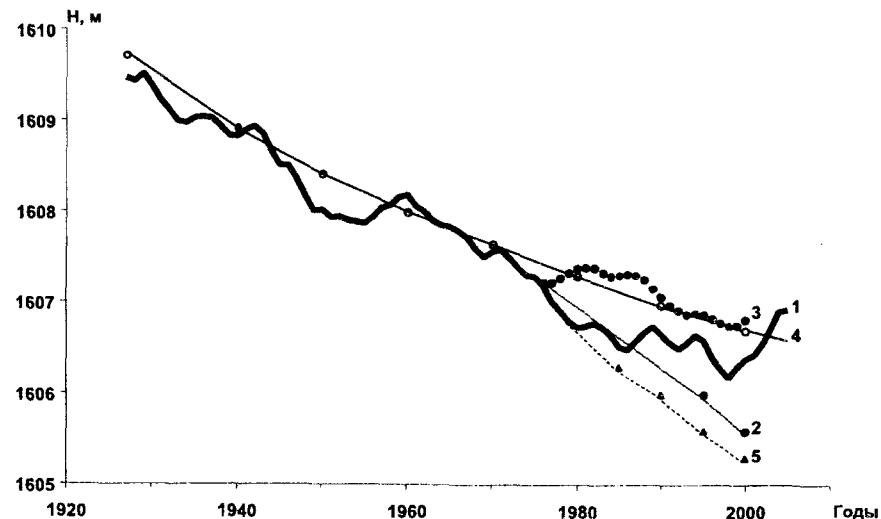


Рис. 5. Фактический ход уровня оз. Иссык-Куль (1) и его прогнозы на период 1976-2000 гг.: 2 – Д.Я. Ратковича (1977), 3 – В.В. Романовского (1979), 4 – В.М. Денисова (1981) и 5 – Т.П. Гронской (1983).

Учет сокращения массы оледенения ( $\Delta W_{\text{л}}$ ) необходим при оценке общих запасов влаги в котловине и безвозвратных потерь влаги ( $\Delta Z$ ) за многолетний период. К примеру, в работе М.Н. Большакова (1982) сказано, что за период продолжительностью 29 лет (1946-1974 гг.),  $\Delta Z$  приравнивается к уменьшению объема воды в озере ( $\Delta W_{\text{оз}}$ ),  $\Delta Z = \Delta W_{\text{оз}}$ . Из этого равенства вытекает, что за последние 28 лет общие запасы влаги в котловине не изменились, так как уровень воды в озере в 2005 г. соответствует ее уровню в 1978 г., т.е.  $\Delta Z = \Delta W_{\text{оз}} = 0$ . Однако, как показывают простейшие расчеты, за это же время величина  $\Delta W_{\text{л}}$  составила более одного метра в слое воды на площадь озера. Недостаток приведенного М.Н. Большаковым равенства  $\Delta Z = \Delta W_{\text{оз}}$  устраняется заменой этого равенства на уравнение:  $\Delta Z = \Delta W_{\text{оз}} + \Delta W_{\text{л}}$ .

Систематическое понижение уровня Иссык-Куля составившее в период 1927- 1998 гг. – 3,3 м, привело к ряду негативных последствий, в числе которых можно отметить сокращение площадей зон нерестилищ ценных пород промысловых рыб, обмеление судоходных фарватеров, общее понижение уровня грунтовых вод на территории приозерной равнины; ухудшение экологической и санитарно-эпидемиологической обстановки в некоторых мелководных заливах и др. Оценка ущерба от снижения уровня, выполненная в конце 80-х годов прошлого столетия (Д.М. Маматканов и др., 1990), показала, что к 2020 г. он составит более 1 млрд. рублей (в стоимостном выражении того времени).

Резкий, заблаговременно не спрогнозированный подъем уровня Иссык-Куля в 1999-2005 гг. привел к подтоплению целого ряда возводимых и уже возведенных строений на побережье. Размываются и уничтожаются волнами песчаные пляжи на полуостровах Кара-Булун, Сухой Хребет и ряде здравниц. Практически по всему побережью в зоне воздействия волн вымыта почва из-под корневой системы прибрежной растительности и, прежде всего, зарослей облепихи. Уничтожаются сформировавшиеся прибрежные ландшафты.

Сходная ситуация наблюдалась совсем в другом регионе. Систематическое снижение уровня Каспия, составившее с начала XX века до 1977г. величину более 3 м, ухудшило общую экологическую ситуацию в регионе, создало кризисные условия существования для некоторых видов водных и околоводных обитателей в дельтах рек Волги и Урала, нарушило гидродинамический режим водоема (В.С. Брезгунов и В.И. Ферронский, 2005). Это же снижение уровня спровоцировало перемещение объектов нефтедобывающей промышленности на осушенные территории. Подъем уровня Каспия на 2,4 м в период 1978-1995 гг. вызвал подтопление этих объектов и создал реальную экологическую угрозу загрязнения водоема нефтепродуктами (Отчет ВМО, № 859, 1997).

На примерах Иссык-Куля и Каспия прослеживаются две границы уровняного режима водоемов, за пределами которых существование биоценозов (включая человека) может быть серьезно нарушено.

Базируясь на приведенных выше доводах, следует констатировать, что в сложившихся к настоящему времени гидроэкологических условиях подъем уровня Иссык-Куля выше отметок, наблюдавшихся в сентябре 2005 г. (1607,03 м над уровнем моря), может быть экологически и экономически опасен. Поэтому максимальную отметку уровня озера в 2005 г. следует принять за верхний предел уровня гидроэкологической безопасности. С другой стороны, в период с января по март 1998 г. уровень озера достиг самых минимальных отметок (1606,07 м), зарегистрированных за период 1927-2005 гг.

В целях недопущения описанных выше ухудшений экологической обстановки в прибрежной полосе озера из-за еще более низкого стояния уровня эту отметку следует принять за нижний предел уровня гидроэкологической безопасности. Поэтому можно считать:

$$1606,0 \text{ м} \leq H_{\text{ГЭБ}} \leq 1607,0 \text{ м}$$

где  $H_{\text{ГЭБ}}$  – гидроэкологически безопасный уровень озера.

Выполнение условий, заданных этим неравенством, характеризует надежность сохранения гидроэкологической безопасности, а их нарушение – степень риска.

**В четвертой главе** диссертации описывается информационно-справочная система ГИС «Иссык-Куль»: цель разработки системы, ее структура; источники информации и примеры использования ГИС, в частности – сбор в нее информации, необходимой для проведения исследований по теме настоящей диссертации и размещение в системе основных результатов этих исследований.

В качестве основного формата баз данных в ГИС «Иссык-Куль» (ГИСИК) нами был использован формат dBASE III PLUS среды СУБД FoxPro. В качестве базовой ГИС – MapInfo Professional.

Для передачи системы конечному пользователю, созданная система была переведена в формат html, т.е. создана Web страница информации по ресурсам Иссык-Кульской области. Это позволило открыть систему для пользователей локальной сети ИВПиГЭ НАН КР и расположить ее в Интернете (свободно распространяемый zip-архив GISIK находится по адресу [www.caresd.net/iwp](http://www.caresd.net/iwp)). В результате всем стало доступно пользование нашей системой без установки каких либо дополнительных программ.

Структура и возможности ГИСИК в новом формате немного изменились, но она не перестала отвечать требованиям, предъявляемым к таким системам.

Как видно из рис. 9, информация предоставлена в трех разделах: административно-территориальный, водные ресурсы и земельные ресурсы. Передвигаться по разделам можно как из основного окна, так и с помощью меню с левой стороны.

Представленная структура ГИСИК обеспечивает информационную поддержку при принятии решений органами управления и способствует решению ряда актуальных задач: ведение комплексного и отраслевого регистра, территориальное и отраслевое планирование и управление природными ресурсами, мониторинг экологической ситуации в регионе и др.



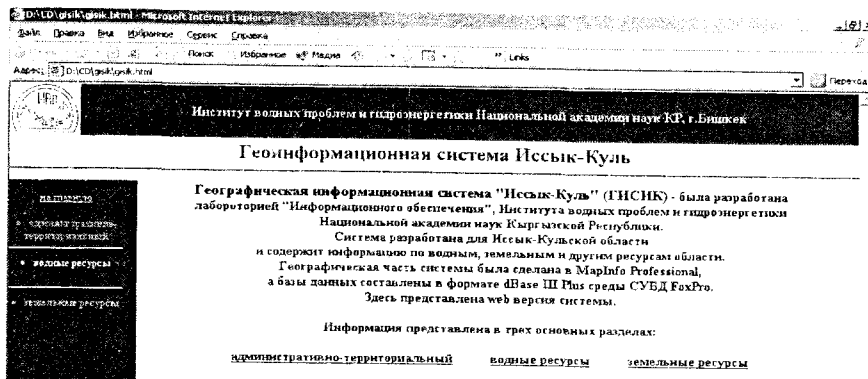


Рис. 9. Главное окно ГИСИК.

Поскольку тематика диссертации связана с разделом «Водные ресурсы», этот раздел системы освещен подробнее.

В раздел «Водные ресурсы» входят сведения о естественных поверхностных водотоках, метеорологических станциях, гидрологических постах и пунктах наблюдений на акватории Иссык-Куля; источниках минеральных вод. Все три подраздела представлены соответствующими картами и необходимой информацией. На рис. 10 представлен образец карты с информацией из подразделов ГИСИК «Водотоки» и «Пункты наблюдений».

Подраздел «Естественные поверхностные водотоки», помимо карты рек области (рис. 10), содержит следующую информацию: наименование реки, другие названия, путь водотока, бассейн, место впадения, длина, площадь водосбора. В подразделе «Пункты наблюдений» имеется информация: местоположение, статус, дата открытия, дата закрытия, абсолютная высота расположения, оледенение бассейна, периоды наблюдений за гидрометеозементами, твердым стоком, качеством воды и т.д., владелец поста. Информация по источникам минеральных вод включает название месторождения, название или номер источника, водопользователь, номер лицензии, минерализация и ее тип, температура воды, дебит источника, глубина, использование.

При создании ГИС «Иссык-Куль» приоритет был отдан накоплению достоверной информации, направленной на оценку состояния и принятия оптимальных решений по использованию природных ресурсов Иссык-Кульской области с учетом допустимых антропогенных нагрузок.

ГИСИК может быть использована для более оптимального распределения водных ресурсов области, размещения на ее территории водоемких и водозагрязняющих предприятий, очистных сооружений и предприятий, влияющих на экологическое состояние региона.

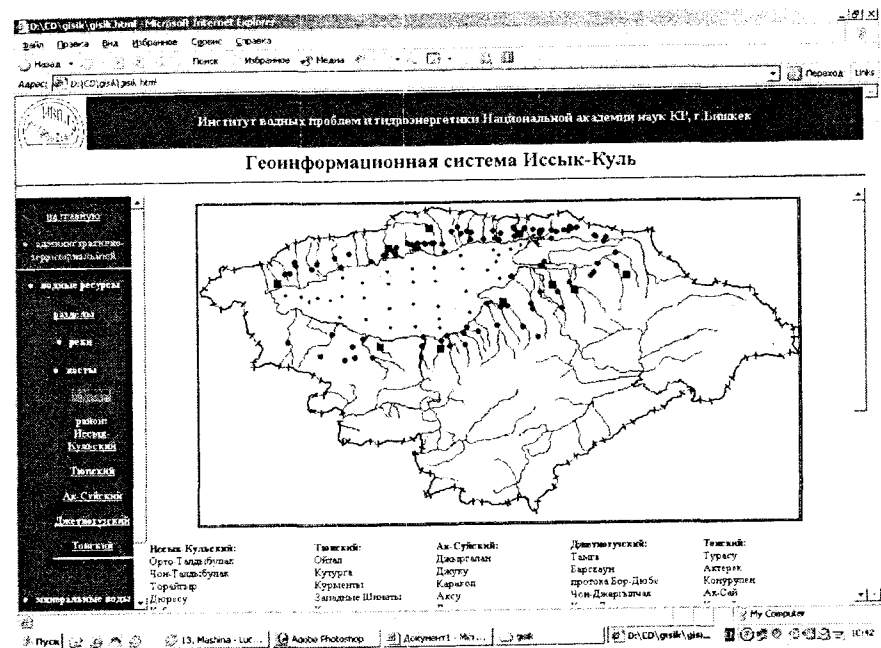


Рис. 10. Одна из страниц ГИСИК: Водные объекты Иссык-Кульской области и размещение пунктов наблюдений на них: ■ – ГМС, ● – ОГП, • – пункты на акватории озера.

Результаты наших исследований также размещены в ГИСИК. Эта информация, пополнив ранее занесенную, послужит в качестве научного обоснования при принятии решений органами управления.

#### Общие выводы по диссертации:

1. Повторяемость циркуляции вод циклонического направления у северного и южного побережий Иссык-Куля почти на порядок превышает этот показатель для других направлений течения.
2. Результаты исследований гидродинамических процессов в озере позволили раскрыть механизм обмена его глубинных вод. Формируясь в зоне термического бара, плотная водная масса распространяется затем в зону максимальных глубин озера.
3. Современное потепление климата выразилось в увеличении температуры водной массы озера на величину  $0,51^{\circ}\text{C}$  за период с 1983 г. по 2004 г.

4. Результаты спектрального анализа, впервые примененного для изучения периодических колебаний уровня озера Иссык-Куль, подтвердили наличие в озере одно- и двухузловой продольных сейш с периодами 1 ч. 56 мин. и 54 мин., а также выявили периодические колебания уровня Иссык-Куля с периодами 2 ч. 07 мин. и 2 ч. 20 мин., природа которых не установлена.
5. Безвозвратные потери влаги из Иссык-Кульской котловины следует рассчитывать с учетом изменения массы оледенения, а не только по изменению объема водной массы озера. Оценено влияние сокращения горного оледенения на уровень воды в Иссык-Куле.
6. Показано, что в сложившихся в настоящее время условиях гидроэкологически безопасной амплитудой колебаний уровня Иссык-Куля следует считать:  $1606,0 \text{ м} \leq H_{г\text{зб}} \leq 1607,0 \text{ м}$ . Обеспечение нижнего предела  $H_{г\text{зб}}$  не приведет к ухудшению условий существования водных и околотовных экосистем, а верхнего – к подтоплению строений и разрушению сформировавшихся природных ресурсов (песчаных пляжей, прибрежной растительности, ландшафтов).
7. Результаты исследования могут быть использованы в прогнозных разработках переноса и распределения по акватории загрязняющих веществ, в перспективных водно-балансовых расчетах. Они необходимы при поиске путей и разработке мер по улучшению экологической ситуации в Прииссыккулье.

**По теме диссертации опубликованы следующие работы:**

1. Shabunin G.D., Shabunin A.G. Climate and physical properties of water in Lake Issyk-Kul: Lake Issyk-Kul: Its Natural Environment. IV. Earth and Environmental Sciences --Vol. 13, 2002, pp. 3-13.
2. Шабунин А.Г., Шабунин Г.Д. “Результаты спектрального анализа сейшевых колебаний уровня озера Иссык-Куль” Известия НАН КР, 2004. – №2. – С. 92-96.
3. Шабунин А.Г. “Преобразование координат” Материалы конференции “Использование географических информационных систем и симуляционных моделей для исследования и принятия решений в бассейнах рек Центральной Азии”. – Ташкент, 2004. – С. 68-70.
4. Шабунин А.Г. “Геоинформационная система Иссык-Кульской области (Кыргызская Республика)” // Актуальные проблемы современной науки: Тр. 1-го Международного форума (6-й Международной конференции) молодых ученых и студентов. Естественные науки. Ч. 18: Информатика и АСУ / Науч. ред. проф. А.С. Трунин, А.В. Чуваков – Самара: СГТУ, 2005. – С. 135.

5. Шабунин А.Г. “Гидроэкологически безопасные колебания уровня озера Иссык-Куль” // Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов. Часть 1. – Бишкек: Илим, 2005. – С. 90-96.
6. Шабунин А.Г., Костенко Л.С. “ГИС для поддержки принятия решений в области управления природными ресурсами (на примере ГИС Иссык-Куль)” // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры (КГУСТА) / Материалы международной научно-практической конференции ГИС в Центральной Азии / Глав. ред. проф. А.А. Абдыкалыков. – Бишкек: КГУСТА, 2005. – С. 28-30.
7. Mamatkanov D.M., Shabunin A.G. “Alongshore waters transfer in the Issyk-Kul Lake” // “Study of the Issyk-Kul Lake hydrodynamics with the use of isotopic methods” – Part II – Bishkek: Ilim, 2006. – P. 5-12.
8. Romanovsky V.V., Shabunin A.G. “Study of the processes of water circulation in the Issyk-Kul Lake with the use of hydrological and isotopic data” // “Study of the Issyk-Kul Lake hydrodynamics with the use of isotopic methods” – Part II – Bishkek: Ilim, 2006. – P. 13-20.
9. Yakimov V.M., Shabunin A.G., Kostenko L.S., Kiplakova N.G. “Codification of surface water objects” // “Study of the Issyk-Kul Lake hydrodynamics with the use of isotopic methods” – Part II – Bishkek: Ilim, 2006. – P. 124-131.
10. Шабунин А.Г. “Течения прибрежной зоны озера Иссык-Куль” // Водные ресурсы Центральной Азии. Региональный научно-практический журнал. Том III, № 3 – Душанбе: АН РТ, 2006. – С. 66-74

## РЕЗЮМЕ

Шабунин Антон Геннадьевич

Гидродинамические процессы озера Иссык-Куль и их роль в формировании экологической обстановки в его бассейне

**Ключевые слова:** Иссык-Куль, экологическая обстановка, режим течений, механизм водообмена, экологически безопасный уровень воды, географическая информационно-справочная система (ГИС).

**Объекты исследования:** режим течений и вертикальный водообмен оз. Иссык-Куль; изменения уровня воды в Иссык-Куле в последние десятилетия, их прогнозы и влияние на него сокращения горного оледенения в котловине.

**Цель работы:** установить основные закономерности вдольберегового переноса вод, выявить механизм водообмена глубинных вод центральной зоны озера, обозначить границы экологически безопасных колебаний уровня Иссык-Куля для современных условий, создание геоинформационной системы водных ресурсов региона.

**Методы исследования:** гидрометеорологический анализ, статистические расчеты и оценивание, спектральный анализ, инновационные.

**Полученные результаты и их новизна:**

Впервые выявлены основные закономерности структуры и режима течений прибрежной зоны озера Иссык-Куль.

Раскрыт механизм водообмена между поверхностными и глубинными водами озера.

Обозначены экологически безопасные пределы колебаний уровня Иссык-Куля в современных условиях.

Создана Геоинформационная система водных ресурсов региона.

**Результаты исследования могут быть использованы** в прогнозных расчетах распределения по акватории загрязняющих веществ, в перспективных водно-балансовых расчетах. Они необходимы при поиске путей и разработке мер по улучшению экологической ситуации в Прииссыккулье.

**Область применения:** гидрологические расчеты и прогнозы, экология и рациональное использование водных ресурсов бассейна оз. Иссык-Куль.

## ABSTRACT

Anton G. Shabunin

The Issyk-Kul Lake: Hydrodynamic Processes and Their Role in Formation of the Lake's Ecological Conditions

**Key words:** Issyk-Kul, ecological conditions, flow regime, water cycle mechanism, ecologically safe water level, Geographic Information System (GIS).

**Subject of inquiry:** regime of flows and vertical water cycle of the Issyk-Kul lake; changes in the Issyk-Kul water levels over the last decades, level fluctuation forecast and impacts of glacial retreat in the lake's hallow.

**Research objective:** to determine the main principles of alongshore water transfer, to reveal the mechanism of deep water cycle in the lake's central zone, to mark borders of ecologically safe fluctuations of the Issyk-Kul level for modern conditions, to design a geoinformation system of water resources of the area in focus.

**Research methods:** hydrometeorological analysis, statistical estimations and evaluation, spectral analysis, innovative methods.

**Findings and their novelty:** For the first time the main principles of the structure and the flow regimes of the Issyk-Kul coastal zone have been revealed. The mechanism of water cycle between surface and deep waters of the lake has been discovered. Ecologically safe limits of the Issyk Kul level fluctuations in modern conditions have been highlighted. The Geoinformation system of water resources of the target area has been developed.

**Results of this research can be used** for forecasting estimations related to pollutant distribution along the lake's surface as well for perspective water-balance estimations. They are necessary to find ways and to determine measures on improvement of an ecological situation in the Issyk-Kul area and adjacent territories.

**Application fields:** hydrological estimations and forecasts, ecology and efficient use of water resources of the Issyk-Kul lake basin.

## РЕЗЮМЕ

Шабунин Антон Геннадьевич

**Ысык-Көлдүн гидродинамикалык процесстери жана анын бассейнинде экологиялык кырдаалды түзүүдөгү алардын ролу**

**Негизги сөздөр:** Ысык-Көл, экологиялык кырдаал, агымдар режими, суу алмашуу механизми, суунун экологиялык коопсуз деңгээли, географиялык маалымат-сурап билүү системасы (ГМС).

**Изилдөө объектилери:** Ысык-Көлдүн агымдар режими жана вертикалдуу суу алмашуусу; акыркы он жылдыктарда Ысык-Көлдөгү суу деңгээлинин өзгөрүшү, алардын прогноздору жана ага ойдундагы тоо муздарынын азайышынын таасир этиши.

**Иштин максаты:** суулардын жээкти бойлой алмашуусунун негизги мыйзам ченемдүүлүктөрүн аныктоо, көлдүн борбордук аймагындагы тереңдиктеги суулардын суу алмашуу механизмин табуу, азыркы шарттар үчүн Ысык-Көл деңгээлинин экологиялык коопсуз термелүүлөрүнүн чегарасын белгилөө, аймактагы суу ресурстарынын геомаалымат системасын түзүү.

**Изилдөө методдору:** гидрометеорологиялык анализ, статистикалык эсептөөлөр жана баа берүү, спектрлүү анализ, инновациялык ыкмалар.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы:

Биринчи жолу Ысык-Көлдүн жээк аймагындагы агымдар структурасынын жана режиминин негизги мыйзам ченемдүүлүктөрү аныкталды.

Көлдүн үстүнкү жана тереңдиктеги суулары ортосундагы суу алмашуу механизми ачып көрсөтүлдү.

Азыркы шарттардагы Ысык-Көл деңгээлиндеги термелүүлөрдүн экологиялык коопсуз чектери белгиленди.

Аймактын Суу ресурстарынын геомаалымат системасы түзүлдү.

**Изилдөө жыйынтыктары** акваторий боюнча булгоочу заттардын бөлүштүрүлүшүнүн прогноздук эсептөөлөрүндө, суу-баланстын келечектүү эсептөөлөрүндө колдонулушу мүмкүн. Алар Ысык-Көл жээгиндеги экологиялык жагдайды жакшыртуу боюнча жолдорду издөөдө жана чараларды иштеп чыгууда керек.

**Колдонуу тармагы:** гидрологиялык эсептөөлөр жана прогноздор, экология жана Ысык-Көл бассейниндеги суу ресурстарын туура пайдалануу.

ШАБУНИН АНТОН ГЕННАДЬЕВИЧ

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ЕГО БАССЕЙНЕ**

Автореферат

Подписано к печати 11.05.06.  
Печать офсетная. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тираж 100 экз.  
Выпущено в ОФ ЦИР