

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

556,5

И-88

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА,
ТЕРМИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО
РЕЖИМА
ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Сборник статей



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1980

556.5
И-88
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА,
ТЕРМИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО
РЕЖИМА
ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Сборник статей

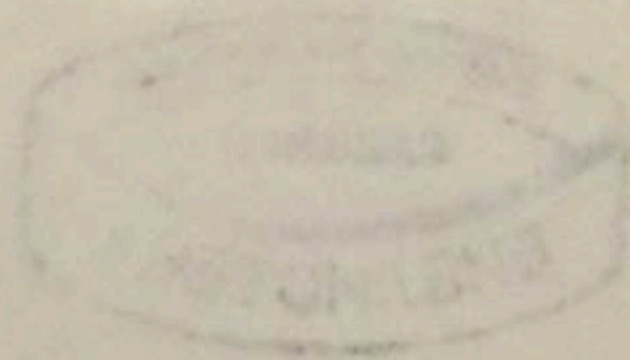
Под редакцией
д-ра геогр. наук А. А. СОКОЛОВА
и канд. техн. наук В. А. ЗНАМЕНСКОГО



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1980

Сборник содержит результаты исследований водного баланса, термического и гидрохимического режима оз. Иссык-Куль. Рассмотрены методы расчета отдельных составляющих водного баланса озера: притока воды, осадков на водную поверхность и испарения. Оцениваются возможные причины падения уровня озера в текущем столетии. Выполнен анализ некоторых особенностей термического режима озера. Приведены баланс химических веществ в водной толще озера и сведения о гидроминеральных и лечебно-грязевых ресурсах Прииссыккуля.

Сборник рассчитан на работников научных, проектных и хозяйственных организаций.



ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», утвержденных XXV съездом КПСС, планируется развертывание работ по созданию в районе оз. Иссык-Куль курортной зоны общесоюзного значения. Существенным этапом этих работ является проведение исследований по изучению причин понижения уровня озера и разработка научно-технического обоснования мероприятий по его водному благоустройству. В гидрологическом плане эти работы включают два основных аспекта: 1) уточнение водного баланса озера и 2) изучение основных факторов, определяющих поступление, трансформацию и перенос в озере химических и загрязняющих веществ.

В настоящем сборнике рассматриваются отдельные аспекты проблемы, связанные с уточнением водного баланса озера и его отдельных составляющих, элементы баланса химических веществ и распределение органических веществ и микрофлоры в водной массе, а также оцениваются гидроминеральные и лечебно-грязевые ресурсы Иссык-Кульской котловины.

Результаты двухлетних (1977—1978 гг.) исследований определяют задачи последующего изучения элементов гидрометеорологического режима применительно к поставленной проблеме.

Рассмотрен водный баланс зоны трансформации стока — рассчитан по годам приток в озеро, впервые определены безвозвратные потери стока рек, забираемого на орошение.

При анализе распределения метеорологических элементов над озером разработан прием приведения случайных измерений температуры воздуха к среднесуточным значениям путем использования материалов экспедиционных исследований ГГИ и Киргизского республиканского УГКС о суточном ходе температуры воздуха на озере и на суше. Получены региональные коэффициенты перехода от градиентного ветра к ветру в приводном слое атмосферы. Анализ актинометрических наблюдений, проводившихся на озере в 1977—1978 гг., позволил рассчитать испарение с поверхности озера по методу теплового баланса. Получена формула для расчета испарения с испарительного бассейна площадью 20 м², расположенного на суше в районе г. Пржевальск.

Сделана попытка расчета осадков, выпадающих на акваторию озера, по зависимостям осадков от дефицита влажности и давления на уровне конденсации по данным береговых метеостанций. Проанализированы зависимости осадков, выпадающих на берегу, от водности облаков. Показано, что в среднемноголетнем разрезе

осадки, выпадающие на поверхность озера, на 15 % меньше осадков, выпадающих на берегу.

Впервые в гидрологической практике произведен анализ распределения облачности над озером в различные сезоны года с использованием спутниковой информации. Несмотря на небольшую разрешающую способность снимков, удалось получить кривую зависимости между балльностью облачности, определяемой на берегу и над озером.

Произведен анализ аномалий температуры воды в озере, которые гипотетически объясняются наличием термальных источников, приуроченных к разломам в земной коре.

Результаты проводимых исследований позволили установить, что среднемноголетний (1946—1974 гг.) приток воды в озеро из зоны формирования стока равен $127 \text{ м}^3/\text{с}$ (635 мм), а непосредственно в озеро — $112 \text{ м}^3/\text{с}$ (560 мм); осадков выпадает $55 \text{ м}^3/\text{с}$ (277 мм), испарение составляет $174 \text{ м}^3/\text{с}$ (870 мм). Около 56 % стока рек поступает в озеро подземным путем в результате фильтрации в руслах рек, каналов и из орошаемых полей. Безвозвратные потери воды, забираемой на орошение (видимое испарение с орошаемых полей), равны $14,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (72,5 мм), что составляет 14 % притока воды из зоны формирования стока и 45 % водозабора. При отсутствии водозабора уровень озера в 1946—1974 гг. повысился бы на 99 см. С учетом того что за этот период уровень озера понизился на 124 см, величина его падения равна 7,7 см в год, что практически совпадает со значением видимого испарения. Таким образом, причиной падения уровня озера в 1946—1974 гг. является забор воды на орошение.

В результате анализа восстановленного водного баланса за 1883—1945 гг. делается вывод, что процесс падения уровня озера в течение этого периода обусловлен влиянием совокупности следующих факторов: климатических, антропогенных и, возможно, перестройкой гидрографической сети (разобщением озера с р. Чу). Показано, что климатические условия не могли быть причиной столь интенсивного падения уровня озера. Подтверждением этого являются данные по восстановленному с 1900 г. стоку рек Иссык-Кульской котловины. Эти данные свидетельствуют об отсутствии уменьшения стока рек. Влияние же климата прослеживается только в отдельные периоды (1883—1890, 1910—1926 гг.).

Высказывается предположение о влиянии на процесс падения уровня озера дефицита притока из р. Чу. При отсутствии водозабора и дефицита притока уровень озера с 1883 по 1974 г. повысился бы на 167 см.

В связи с гипотезой о дефиците притока со стороны р. Чу обобщены имеющиеся исследования по истории р. Чу в голоцене и проанализированы результаты полевых работ гидрографической партии Киргизского республиканского УГКС по обследованию урочища Кутемалды.

Баланс химических и загрязняющих веществ в водной массе озера основывается на результатах исследований водного баланса.

Всего с речными водами в озеро поступает 540 тыс. т солей в год, а с атмосферными осадками — 40 тыс. т. Установлено, что химический состав воды озера резко отличается от состава воды питающих его рек и атмосферных осадков. В воде озера увеличивается содержание гидрокарбонатных и кальциевых ионов в 3 раза, ионов магния в 70 раз, сульфатных ионов в 100 раз, ионов щелочных металлов в 200 раз и хлоридных ионов в 400 раз по сравнению с речной водой. Это обусловлено нарушением карбонатного равновесия при смешении пресных речных и атмосферных вод с высокоминерализованными озерными водами. В результате накопления солей в озере средняя минерализация воды увеличилась с 1932 г. на 15 мг/л.

Влияние антропогенного воздействия на водную массу озера сказывается на увеличении поступления биогенных, взвешенных и загрязняющих веществ, для которых расчет баланса целесообразно вести не по всему озеру, а по его отдельным районам.

Как показывают исследования НИИ курортологии и физиотерапии, увеличение количества азота нитратов в прибрежной зоне озера наблюдается в весенний период, а общего фосфора, перманганатной окисляемости, БПК₅ и сапрофитных бактерий — в летнее время. Такое сезонное распределение загрязняющих веществ связано с увеличением антропогенного воздействия на прибрежную зону в летний период.

Вода озера и месторождения минеральных вод по своему составу представляют хорошую базу для развития курортного комплекса в районе оз. Иссык-Куль. Общий дебит минеральных источников составляет около 50 л/с. На акватории и в прибрежной зоне озера сосредоточены большие запасы (2,5 млн. т) лечебных грязей, легкодоступных для добычи. Однако до настоящего времени выявление всех курортологических ресурсов озера и его побережья еще не закончено. Поэтому определение запасов и изучение свойств минеральных вод и лечебных грязей должно быть продолжено.

Проведенные исследования выявили необходимость продолжения и углубления исследований, концентрации внимания на расчетах баланса атмосферной влаги котловины. Полученное в среднемноголетнем масштабе равенство выноса влаги за пределы котловины видимому испарению требует подтверждения расчетами влагооборота. Необходимо продолжить исследования по уточнению расчетной формулы для испарения с поверхности озера путем постановки экспериментальных измерений на плавучем испарителе. Необходимо дальнейшее развитие методики расчета осадков на акваторию озера путем разработки новых моделей.

Для уточнения роли различных факторов на процесс падения уровня озера необходимо разработать новые методы для восстановления элементов водного баланса за годы, для которых отсутствуют данные наблюдений. Завершением исследований должен быть прогноз изменения уровня озера с учетом различных гидрометеорологических условий.

Т. П. Гронская

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Изучение водного баланса оз. Иссык-Куль представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения. Водный баланс озера отражает интегральное воздействие всех факторов, влияющих на изменение объема водной массы, обусловленное как колебаниями климата, так и антропогенной деятельностью на водосборе. Знание водного баланса является необходимой основой для прогнозирования уровня воды озера и разработки мероприятий по его стабилизации.

Исследования водного баланса оз. Иссык-Куль начались сравнительно недавно, однако в настоящее время имеется большое количество работ, посвященных расчетам водного баланса озера и отдельных его элементов [1—15].

Водный баланс оз. Иссык-Куль впервые был составлен З. А. Викулиной в 1946 г. Как указывает Викулина, «расчет является лишь первым приближением, определяющим порядок величин основных элементов водного баланса».

Расчеты производились по уравнению водного баланса вида

$$x + y = z \pm \Delta h, \quad (1)$$

где x — осадки на поверхность озера; y — поверхностный приток воды в озеро; z — испарение с водной поверхности; Δh — изменение уровня воды озера.

Подземный приток не был включен в уравнение водного баланса озера, так как он предполагался незначительным. Такой подход, видимо, связан с недостаточным количеством гидрометрических данных наблюдений за стоком рек (всего 15 гидрометстворов).

Недостаточным количеством гидрометрической информации обусловлена также методика определения притока с неизученных площадей приозерной равнины озера, заключающаяся в том, что для каждого из трех выделенных гидрологических районов были приняты постоянные модули стока, что неправомерно для бассейна озера, имеющего резко выраженную меридиональную изменчи-

пость стока. Расчет осадков на акваторию озера выполнялся в предположении равенства осадков, выпавших на акваторию озера и береговую зону. Данные наблюдений за осадками на акваториях крупных озер земного шара, проводившихся в последнее время, указывают на наличие плювиометрической депрессии над центральной частью акватории озера в теплое время года. Испарение с акватории оз. Иссык-Куль было рассчитано по формуле Мейера—Тихомирова с использованием данных береговых метеорологических станций Рыбачье и Чолпон-Ата.

Однако, несмотря на указанные выше допущения, водный баланс оз. Иссык-Куль, составленный Викулиной, дает достаточно верное представление о соотношении приходных и расходных частей.

В 1960 г. был опубликован водный баланс озера, рассчитанный И. Д. Цигельной [12] (табл. 1). Методический подход к определению элементов водного баланса озера незначительно отличался от подхода Викулиной. Некоторые отличия, связанные прежде всего с использованием иных эмпирических формул и данных наблюдений береговых метеорологических станций, находящихся на некотором удалении от уреза воды, привели к значительному занижению испарения по сравнению с тем, которое было рассчитано Викулиной. Невязка водного баланса озера, равная

Таблица 1

Водный баланс оз. Иссык-Куль, рассчитанный различными авторами, мм

Компоненты водного баланса	Викулина, 1931—1943 гг.	Цигельная, 1936—1958 гг.	Шнитников, многолетний	Каплинский, 1946—1965 гг.	Черкасов, 1972—1973 гг.	Зексер, Дюринев, 1972 г.	ГГИ, 1946—1974 гг.
П р и х о д							
Осадки	268	251	250	289	230	293	277
Поверхностный приток	567	381 *	480	208	184	494	252
Подземный приток	—	—	—	330	241	80	316
Сумма	835	632	730	827	655	867	845
Р а с х о д							
Испарение	865	702	700	864	73	840	878
Потери на орошение	—	—	100	—	—	171	— *
Сумма	865	702	800	864	73	1011	878
Изменение уровня воды	—30	—70	—70	—37	—85	—140	—30
Невязка баланса	—	—	—	—	9	—	—

* Безвозвратные потери воды на орошение учтены при расчете поверхностного притока.

98 мм, была отнесена Цигельной за счет потерь воды на орошение (42 мм) и промышленно-бытовые нужды (56 мм).

В работах А. В. Шнитникова [13, 14] приводится водный баланс оз. Иссык-Куль при наличии и отсутствии стока из него (табл. 1). Автор не поясняет методики расчета отдельных составляющих водного баланса, но, судя по совпадению их с рассчитанными Цигельной, Шнитников использовал аналогичные методы расчета. Подземный приток как отдельная составляющая уравнения водного баланса впервые выделен М. И. Каплинским [6—8]. Он показал, что в структуре среднего многолетнего баланса озера подземный приток составляет около 30 % суммы приходных статей баланса (табл. 1). Им же совместно с М. И. Косухиной [7] и Л. С. Тимченко [8] впервые рассчитан водный баланс озера за отдельные годы. Расчет подземного притока воды в озеро [6] основан на решении уравнения баланса грунтовых вод приозерной части Иссык-Кульской котловины. Методика весьма интересна и, вероятно, правомерна, однако следует отметить, что такие расчеты требуют знания большого количества параметров, точность определения которых в настоящее время очень низкая. Подходы к определению остальных элементов водного баланса аналогичны принятым Викулиной и Цигельной.

Попытка составления водного баланса озера за отдельные месяцы календарного года была сделана Л. Г. Черкасовым [15]. Значительные невязки водного баланса, достигающие до 67 % по отношению к уравненному водному балансу, и соизмеримость их с падением уровня озера, видимо, свидетельствуют, что составление водного баланса озера за короткие (месячные) интервалы времени при современных методах измерений и изученности составляющих баланса является преждевременным.

В статье Д. Я. Ратковича [10] приводится водный баланс озера, основанный на исследованиях, проведенных в Киргизгипроводхозе С. А. Преснецовой и Ю. С. Якиманским. В основу расчета водного баланса озера заложены более обширные материалы наблюдений, в частности, использованы данные наблюдений на гидрологических разрезах и рейдовых вертикалях на акватории водоема. Недостатки расчета водного баланса достаточно хорошо проанализированы Ратковичем. Принятое значение безвозвратных потерь стока на орошение, равное $\frac{2}{3}$ водозабора, несколько завышено.

И. С. Зекцер и И. В. Диордиев в статье [4] приводят водный баланс озера за 1972 г. с учетом подземного притока, полученного по гидродинамическому методу (табл. 1).

Обращает на себя внимание неточность в расчетах. Авторы неправильно истолковывали понятие поверхностного притока воды в озеро, приведенное в работе [10], который представляет собой суммарный сток из зоны формирования. Такая ошибка привела к тому, что подземный приток в балансе учтен два раза: в качестве части стока из зоны формирования и независимым членом уравнения водного баланса.

С 1977 г. работы по уточнению водного баланса озера проводятся ГГИ совместно с Киргизским республиканским УГКС. Эти работы основываются на комплексном изучении процессов, влияющих на изменение элементов водного баланса как самого озера, так и его водосборного бассейна.

Предварительные результаты расчетов водного баланса оз. Иссык-Куль за период с 1946 по 1974 г., полученные нами, приведены в табл. 1. В этих расчетах использованы новые подходы к определению отдельных составляющих водного баланса озера [2, 3, 4]; определены безвозвратные потери стока рек Иссык-Кульской котловины на орошение на основе данных о гидрометеорологических и агроклиматических характеристиках котловины; выделена подземная составляющая притока воды в озеро (путем решения уравнения водного баланса приозерной части Иссык-Кульской котловины); расчет испарения выполнен несколькими независимыми методами на основе уточненных метеорологических данных, учтен эффект уменьшения осадков над акваторией озера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков М. Н. О регулировании водного баланса и уровня озера Иссык-Куль.— Изв. АН Киргизской ССР, 1969, № 4, с. 21—24.
2. Гронская Т. П. Особенности расчета притока воды в озеро Иссык-Куль.— См. настоящий сборник.
3. Кривошей М. И., Гронская Т. П. К вопросу о расчете осадков на акваторию озера Иссык-Куль.— См. настоящий сборник.
4. Зекцер И. С., Диордиев И. В. О подземном стоке в озеро Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1979, № 3, с. 107—112.
5. Гронская Т. П., Фуксова Т. В. О расчете испарения с акватории озера Иссык-Куль.— См. настоящий сборник.
6. Каплинский М. Н. О влиянии водохозяйственных мероприятий на изменение уровня озера Иссык-Куль.— Вопросы водного хозяйства (мелиорация), 1974, вып. 29, с. 178—185.
7. Каплинский М. Н., Косухина М. И. Динамика водного баланса озера Иссык-Куль при современном состоянии орошения и на перспективу.— Вопросы водного хозяйства, 1978, вып. 44, с. 103—115.
8. Каплинский М. Н., Тимченко Л. С. Водный баланс озера Иссык-Куль за многолетний период.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 50(131), с. 87—101.
9. Ключарев Ю. П. О режиме уровня озера Иссык-Куль.— Метеорология и гидрология, 1973, № 2, с. 85—93.
10. Раткович Д. Я. Водный баланс и режим уровня озера Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 20—33.
11. Хейфец М. Н. Анализ колебаний уровня озера Иссык-Куль в XX веке.— Материалы по физической географии Иссык-Кульской котловины, 1964, вып. VII, с. 15—27.
12. Цигельная И. Д. Водный баланс озера Иссык-Куль.— Материалы гляциологических исследований, 1960, вып. 2, с. 91—96.
13. Шнитников А. В. Водные ресурсы озера Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 5—19.
14. Schnitnikov A. V. Water Balance variability of lakes Aral, Balkhash, Issyk-Kul and Chany.— Intern. Assoc. Hydrol. Sc.: Publicat, 1973, No 109, pp. 130—140.
15. Черкасов Л. Г. О водном балансе озера Иссык-Куль.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 50(131), с. 81—86.

В. Г. Рождественская

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЯДОВ СТОКА РЕК ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Восстановление рядов стока рек за период, в течение которого отсутствуют данные наблюдений, необходимо для расчета притока воды в озеро из зоны формирования стока.

В табл. 1 помещены сведения о продолжительности наблюдений на реках Иссык-Кульского бассейна. Наиболее изученными в гидрометрическом отношении являются реки южного побережья с периодом наблюдений около 40 лет. Слабее всего изучены водотоки в западной части северного побережья озера.

При восстановлении рядов использовались наблюдения над стоком в замыкающих створах при выходе рек из гор.

Приведение рядов стока к длительному периоду осуществлялось подбором рек-аналогов.

В бассейне оз. Иссык-Куль трудно подобрать реки-аналоги, так как условия питания и формирования стока речных бассейнов неодинаковы из-за разнообразия рельефа и климатических факторов. Корреляционные зависимости между расходами различных рек очень слабые даже для постов, расположенных на одной реке, но в разных высотных зонах. Кроме того, период наблюдений за стоком не превышает 43 лет. Поэтому аналоги выбирались и за пределами бассейна озера, что, естественно, не вполне корректно вследствие различных условий формирования стока.

Приведение стока к многолетнему периоду осуществлялось по методу, основанному на поэтапном применении математического аппарата множественной линейной регрессии [1], по программе, составленной М. В. Зориным. Предполагаемые пункты-аналоги приведены в табл. 2.

В приведении стока к длительному периоду для каждого конкретного пункта участвовали не все 9 аналогов, а лишь наиболее эффективные из них по критериям надежности коэффициентов корреляции и регрессии.

Средние модули стока и статистические параметры стока рек бассейна оз. Иссык-Куль

Река — пункт	Число лет		Средний M л/(с·м ²)		C_v		C_s		C_s/C_v		$\sigma/\bar{x}$	
	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд
Тюп — с. Сарытологой	37	75	16,5	16,8	0,18	0,18	0,39	0,46	2,16	2,55	2,94	2,07
Тюп — с. Тюп	24	75	9,25	9,36	0,20	0,22	0,46	0,60	2,30	2,72	4,06	2,53
Б. Куочи — с. Куочи	9	60	14,7	14,2	0,26	0,19	0,35	0,13	1,35	0,68	8,66	2,43
Талдысу — с. Талдысу	8	63	10,6	11,1	0,28	0,20	1,82	0,92	6,50	4,60	9,86	2,50
Ичкесу — с. Ичкесу	9	75	9,09	8,72	0,17	0,16	0,14	-0,005	0,82	-0,031	5,66	1,81
Джыргалан — с. Совет- ское	39	75	18,9	19,0	0,18	0,18	-0,15	0,26	-0,83	1,44	2,86	2,07
Джыргалан — с. Михай- ловка	25	75	10,8	11,0	0,18	0,19	0,47	0,49	2,61	2,58	3,60	2,18
Тургенъаксу — пос. лесо- завода	43	75	19,8	20,2	0,13	0,13	0,23	0,52	1,77	4,00	1,97	1,49
Бозучук — с. Нововозне- сеновка	25	66	22,6	22,5	0,21	0,20	0,74	0,69	3,52	3,45	4,20	2,45
Ичке-Джергес — с. Ичке- Джергес	6	63	23,5	24,0	0,26	0,22	-1,26	0,68	-4,85	3,09	10,6	2,76
Аксу — устье	13	65	18,0	18,9	0,26	0,25	1,30	0,92	5,00	3,68	7,18	3,08
Аксу — с. Теплоклю- ченка	30	75	16,9	16,8	0,20	0,22	0,60	0,81	3,00	3,82	3,63	2,53
Аксу — Минеральные ключи	30	75	19,3	19,7	0,16	0,15	1,99	1,02	2,4	6,80	2,90	1,72
Каракол — устье р. Каш- касу	43	75	20,8	20,9	0,12	0,11	0,090	0,18	0,75	1,64	1,82	1,26
Ирдык — с. Ирдык	37	75	14,6	14,8	0,14	0,14	-0,052	0,28	-0,37	2,00	2,29	1,61
Джетыгогуз — курорт Джетыгогуз	15	75	20,5	20,6	0,17	0,17	1,21	0,95	7,11	5,65	4,36	1,95

Река — пункт	Число лет		Средний М л/(с·м³)		C _v		C _s		C _s /C _v		σ _x	
	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд	исходный ряд	приведен- ный ряд
Чон-Кызылсу — устье р. Кашкатор	27	46	21,3	21,0	0,24	0,22	3,55	3,08	14,8	14,0	4,60	3,22
Чон-Кызылсу — лесной кордон	41	75	15,8	16,0	0,14	0,14	0,18	0,27	1,28	1,93	2,17	1,61
Кашкатор — 1 км выше устья	8	58	21,7	21,7	0,12	0,11	—0,076	0,076	—0,63	0,69	4,22	1,44
Кичине-Кызылсу — с. Покровка	32	64	12,2	12,1	0,14	0,12	0,86	0,85	6,15	7,8	2,16	1,49
Джууку — устье р. Джу- укучак	37	61	12,1	12,3	0,13	0,14	0,27	0,43	2,08	3,07	2,3	1,78
Барскаун — устье р. Са- сык	34	61	11,8	1,9	0,16	0,15	1,09	0,72	6,81	4,80	2,73	1,91
Тамга — с. Тамга	38	59	8,25	8,24	0,13	0,12	0,011	0,16	0,085	1,33	2,10	1,57
Тоссор — устье р. Колол	36	51	7,77	7,79	0,15	0,15	0,36	0,34	2,40	2,27	2,50	2,09
Тон — с. Турасу	31	61	8,62	8,74	0,22	0,21	0,48	0,36	2,18	1,71	3,93	2,67
Аксай — с. Коксай	34	51	8,70	8,86	0,15	0,16	0,75	0,63	5,00	3,94	2,56	2,23
Актерек — МТС	37	51	7,35	7,48	0,15	0,14	1,05	0,78	,00	5,57	2,45	1,95
Туласу — с. Улахол	36	75	5,51	5,58	0,14	0,13	0,067	0,13	0,48	1,00	2,33	1,49
Чон-Койсу — с. Курское	36	59	15,9	16,0	0,20	0,19	0,62	0,42	3,10	2,21	3,33	2,46
Чолпоната — свх Чолпо- ната	27	61	11,3	11,2	0,20	0,21	0,54	0,33	2,70	1,57	3,83	2,67
Бахту-Доланаты — с. Бо- стери	8	75	11,0	11,1	0,11	0,096	0,98	0,21	7,90	2,18	3,87	1,10
Орто-Доланаты — с. Чон- таш	8	61	14,3	14,4	0,071	0,061	—0,71	0,033	—10,0	0,54	2,50	0,78
Четки Доланаты — гора Туюк-Джарык	8	75	10,9	10,9	0,13	0,11	0,13	0,76	1,00	6,91	4,58	1,26

Предполагаемые пункты-аналоги

Река	Пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений
Нарын	кишл. Учкуртан	58 400	1910—1918 1925—1975
Тургеньаксу	пос. лесозавода	330	1930—1933 1936—1975
Чу	с. Кочкорка	5 370	1932—1974
Чон-Кемин	устье	1 890	1929, 1930, 1932, 1934—1974
Аламедин	устье р. Чункурчак	317	1912—1915, 1926 1929—1974
Чирчик	с. Чимбайлык	10 900	1901—1974
Зеравшан	мост Дунули	10 200	1914—1921, 1924—1970, 1973—1975
Или	В 37 км ниже р. п. Или	111 000	1911—1972, 1975
Карабура	ущелье Коксай	797	1930—1933, 1935—1965, 1967—1974

Уравнение множественной линейной регрессии, по которому восстанавливался сток, имеет вид

$$M_0 = K_1 M_1 + K_2 M_2 + \dots + K_j M_j + \dots + K_l M_l + K_0, \quad (1)$$

где M_0 — сток в приводимом пункте; M_j — сток в пунктах-аналогах при $j=1, 2, \dots, l$; K_j — коэффициент регрессии; l — число аналогов; K_0 — свободный член уравнения.

Отбор эффективных аналогов осуществлялся с использованием критериев:

$$R \geq R_{кр}; \quad \frac{R}{\sigma_R} \geq \alpha_{кр}; \quad \frac{K}{\sigma_K} \geq \beta_{кр}, \quad (2)$$

где R — коэффициент множественной корреляции; $R_{кр}$ — минимальное назначаемое значение коэффициента множественной корреляции; σ_R — средняя квадратическая ошибка коэффициента множественной корреляции; K — коэффициент регрессии; σ_K — средняя квадратическая ошибка коэффициента регрессии.

При этом принимались следующие критические значения: $R_{кр}=0,6$, $\alpha_{кр}=2$, $\beta_{кр}=2$.

Погодичное восстановление стока осуществлялось несколькими этапами в порядке убывания множественных коэффициентов корреляции. Наибольшее число одновременно используемых аналогов составило 2, так как при большем числе одновременно используемых аналогов не удовлетворяются условия их эффективности. Таким способом осуществлено приведение к длительному периоду 49 пунктов наблюдений.

Средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии, средние квадратические ошибки среднего по исходному и приведенному ряду приведены в табл. 1.

Точность восстановления стока по разным рекам различная. Коэффициенты корреляции колеблются от 0,60 до 0,90; средняя квадратическая ошибка среднего ($\sigma_{\bar{x}}$) по наблюдаемым рядам составляет 1,8—14,6 %, по приведенным рядам — 0,78—3,38 %.

Среднее квадратическое отклонение коэффициентов асимметрии по наблюдаемому ряду равно 0,75 (его теоретическое значе-

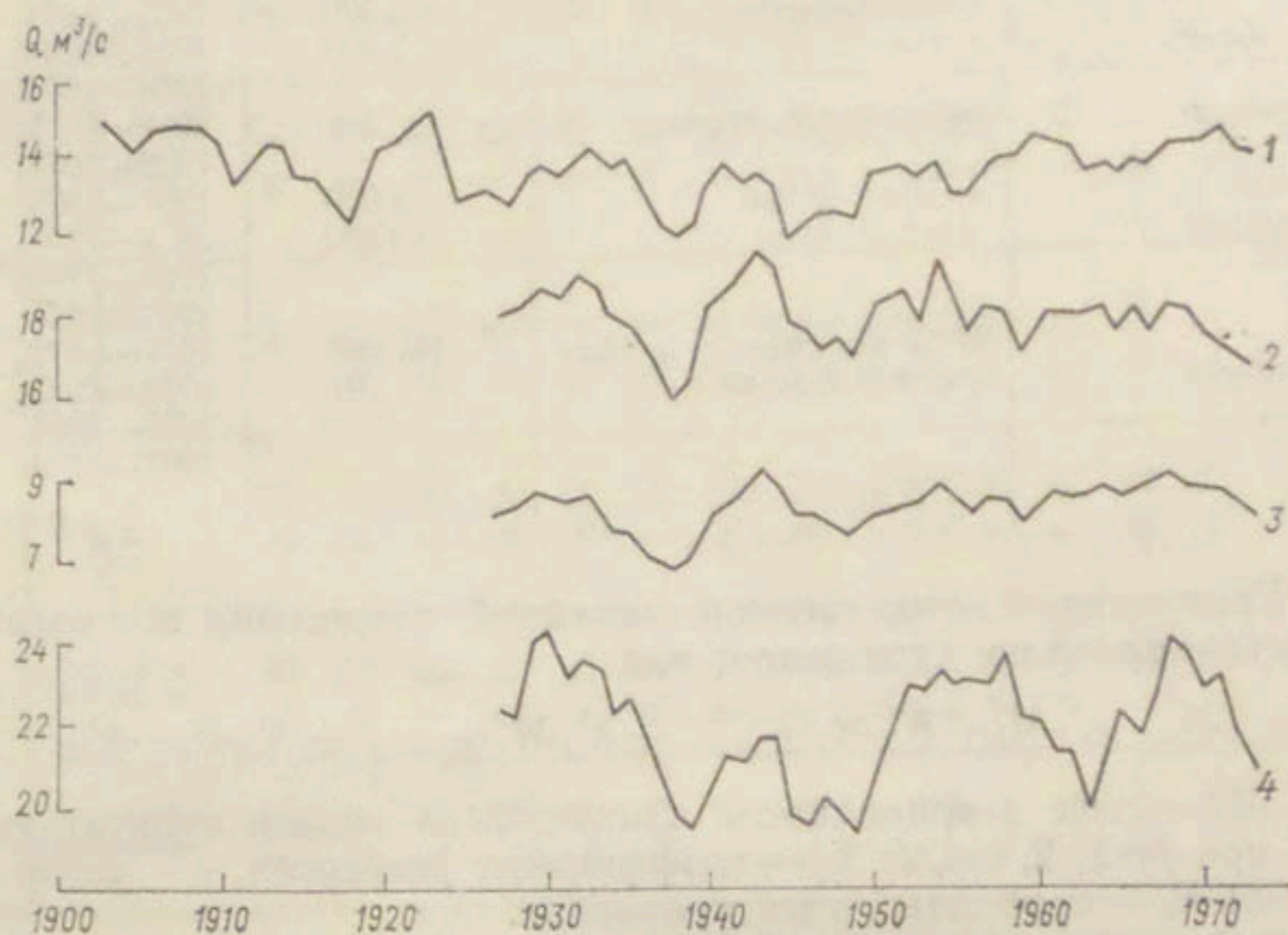


Рис. 1. Многолетние колебания суммарного стока рек по скользящим 5-летиям по гидрологическим районам.

1 — реки Каракол, Ирдык, Джетыгогуз, 2 — Кичине-Кызылсу, Джууку, Барскаун, Тамга, Тоссор, Тон, Турасу, 3 — Чон-Койсу, Чолпоната, Орто-Доланаты, Сугетты, Чон-Аксу, 4 — Аксу, Каменная, Кичи-Урюкты, Чон-Урюкты, Ойтал, Кутурга, Вост. Шинаты, Тюп, Джергалан.

ние, по данным работы [2], 0,51), а по приведенному ряду эмпирическое $\sigma_{C_s} = 0,48$, теоретическое — 0,31.

Так как среднее квадратическое отклонение коэффициентов асимметрии, вычисленное по наблюдаемым рядам, больше его теоретического значения, то можно сделать вывод об однородности наблюдаемых коэффициентов асимметрии. На этом основании для рассматриваемого района можно принять $\bar{C}_s = 0,50$ или $C_s/C_v = 3,0$.

По 18 рекам, имеющим наиболее длительные ряды наблюдений, коэффициенты корреляции оказались меньше 0,6. Это объясняется тем, что для этих рек аналоги выбирались за пределами бассейна озера.

Графики хода стока за многолетний период, построенные по всем рекам района, свидетельствуют о синхронности колебаний стока.

Для рек с наиболее длинными рядами наблюдений построены графики суммарных, осредненных по скользящим 5-летиям значений стока рек (рис. 1) по гидрографическим районам, выделенным по зависимости среднегогодового модуля стока от средневзвешенной высоты водосбора [3]. Анализ этих графиков указывает на отсутствие тенденции к уменьшению стока. Таким образом, нет оснований считать, что одной из причин понижения уровня оз. Иссык-Куль является уменьшение притока воды в озеро из зоны формирования стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду.— Л.: Гидрометеиздат, 1979.
2. Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик.— Л.: Гидрометеиздат, 1977.— 268 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 14, вып. 2.— Л.: Гидрометеиздат, 1973.— 308 с.

Т. П. Гронская

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРИТОКА ВОДЫ В ОЗЕРО ИССЫК-КУЛЬ

Приток воды в оз. Иссык-Куль поверхностным и подземным путем, являясь важным компонентом водного баланса озера, отражает интегральное воздействие климатических и антропогенных факторов на процесс формирования стока в бассейне этого водоема. Формируясь в основном в горной зоне, сток рек значительно трансформируется на приозерной равнине, что в первую очередь связано с забором воды на орошение, составляющим около 40 % стока, поступающего из зоны формирования. Приозерная равнина, на которой происходит трансформация стока, сложена легкопроницаемыми аллювиально-делювиальными отложениями, что приводит к значительным потерям поверхностного стока на фильтрацию в руслах рек и оросительных каналах.

Основная часть гидрометрических створов расположена непосредственно при выходе рек с гор, и данные наблюдений на них не отражают сложных процессов, происходящих в зоне трансформации стока. Приток воды к урезу озера учитывается только на семи гидрометрических постах, поэтому расчет притока воды в озеро нельзя основывать только на гидрометрических данных, поскольку это может привести к значительным систематическим ошибкам.

Для того чтобы наиболее полно учесть основные факторы, влияющие на формирование притока воды в озеро, была предпринята попытка его расчета на основе уравнения водного баланса зоны трансформации стока.

Применительно к расчету притока воды за годовой интервал времени это уравнение может быть записано в следующем виде:

$$y_{\Sigma} = y + x - z \pm \Delta w, \quad (1)$$

где y_{Σ} — суммарный приток в озеро поверхностным и подземным путем; y — приток воды по рекам из зоны формирования стока; x — осадки, выпавшие на площадь зоны трансформации стока;

z — испарение с площади зоны трансформации; Δw — изменение запасов грунтовых вод.

Рассмотрим результаты расчета отдельных составляющих этого уравнения.

Приток воды из зоны формирования стока. Исходными материалами для расчета послужили данные 28 постов Киргизского республиканского УГКС и 50 постов Министерства водного хозяйства. Расчет выполнялся по годам за период с 1930 по 1974 г. для 7 районов (рис. 1), выделенных по зависимостям среднего многолетнего стока от средней взвешенной высоты водосборного бассейна. Следует заметить, что коэффициенты корреляции модулей стока с высотой достаточно высоки и в разные годы колеблются от 0,75 до 0,86.

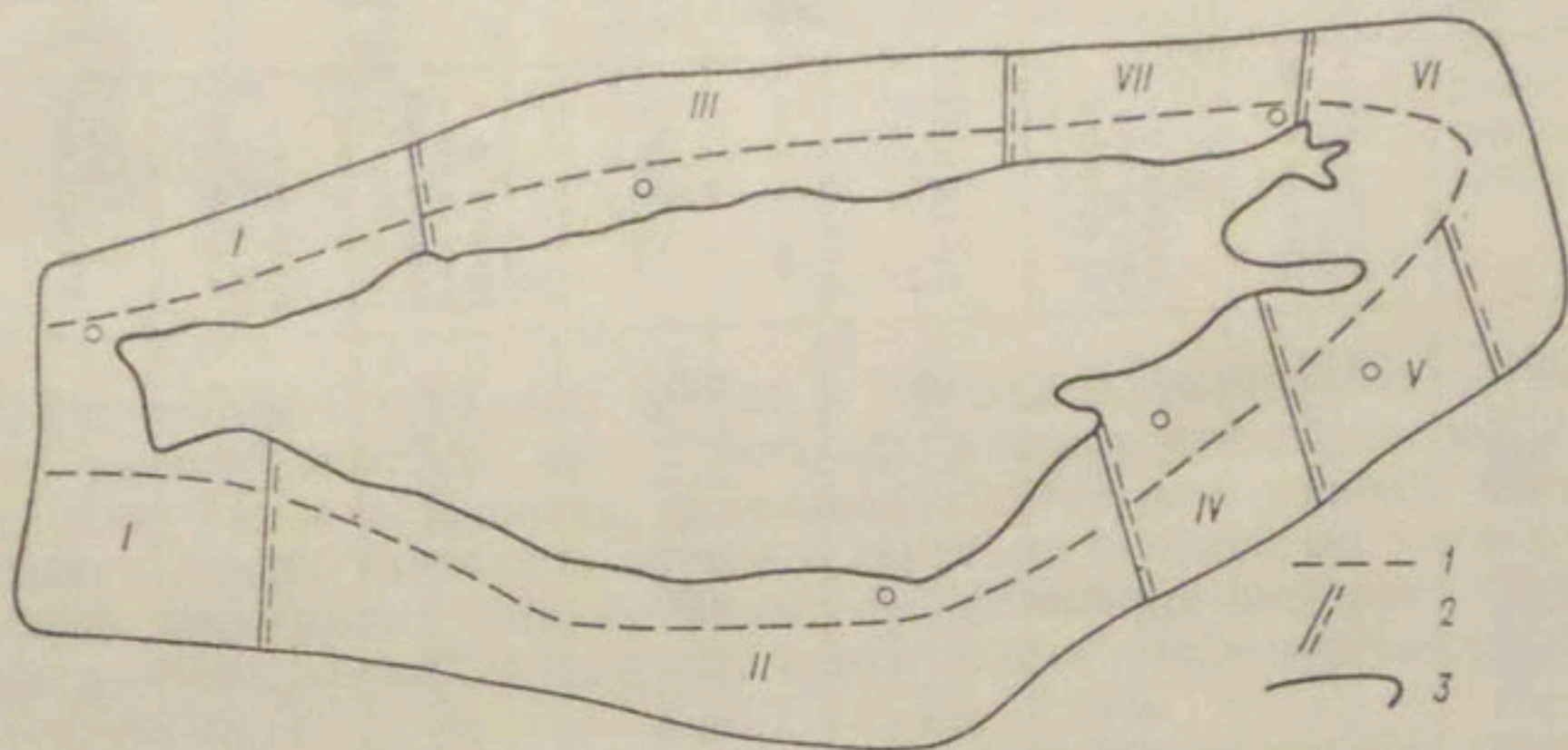


Рис. 1. Гидрологические районы бассейна оз. Иссык-Куль.

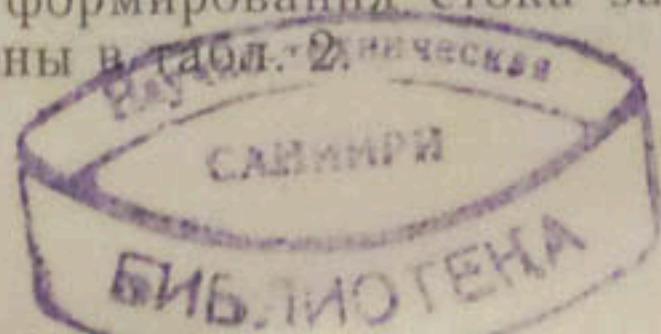
1 — граница приозерной равнины (зоны рассеивания стока), 2 — границы районов, 3 — водораздел водосборного бассейна озера.

Параллельно выполнялся расчет притока по методу последовательной комплексной регрессии, предложенному В. Ф. Крюковым [3], с использованием следующих физико-географических факторов: широта, долгота и высота центра тяжести водосборного бассейна, площадь и уклон водосбора и степень его покрытости ледниками.

Расчет притока с использованием двух методов дал близкие результаты, расхождения между которыми находятся в пределах точности измерения расходов воды.

Сопоставление рассчитанных в ГГИ значений притока воды из зоны формирования стока с данными других исследователей, приведенное в табл. 1, показывает хорошую сходимость полученных результатов (в основном различия не превышают $\pm 5\%$), за исключением данных И. Д. Цигельной, что, очевидно, связано с недоучетом ею стока с неизученной территории.

Сведения о притоке воды из зоны формирования стока за отдельные годы (с 1946 по 1974) приведены в табл. 2.



Приток воды из зоны формирования стока, средний за период

Автор	Период	Приток, м ³ /с	Расчеты ГГИ, 1979 г.
З. А. Викулина	1931—1943	112	113
И. Д. Цигельная [7]	1933—1952	94	117
М. Н. Большаков [1]	1931—1966	121	120
Д. Я. Раткович [4]	1946—1972	123	127

Таблица 2

Водный баланс зоны трансформации стока по годам за период 1946—1974 гг., м³/с

Год	Приток из зоны формирования стока	Безвозвратные потери на орошение	Приток в оз. ро	Год	Приток из зоны формирования стока	Безвозвратные потери на орошение	Приток в оз. ро
1946	112	15,9	96,1	1961	128	12,7	115,3
1947	94	11,7	82,3	1962	119	13,3	105,7
1948	97	14,6	82,4	1963	123	—	—
1949	88	12,7	76,3	1964	141	—	—
1950	123	15,2	107,8	1965	126	21,0	105,0
1951	122	14,0	108,0	1966	142	15,6	126,4
1952	126	18,4	107,6	1967	145	17,5	127,5
1953	120	—	—	1968	126	18,7	107,3
1954	125	9,5	115,5	1969	162	13,3	148,7
1955	123	13,3	109,7	1970	153	16,2	136,8
1956	139	9,2	129,8	1971	144	18,4	125,6
1957	114	10,5	103,5	1972	115	15,6	99,4
1958	128	9,2	118,8	1973	140	22,0	118,0
1959	143	8,2	134,8	1974	122	17,1	104,9
1960	133	14,3	118,7	Сумма	3674		
				Среднее	127	(14,5)	(112,5)

Коэффициент вариации средних годовых значений притока не-высок и равен 0,14.

Осадки. Слой осадков рассчитывался по данным 7 метеорологических станций и 28 постов по методу изогьет для каждого из 7 выделенных районов. К измеренным суммам осадков вводились все виды поправок: на смачивание, ветровой недоучет, испарение из осадкомерного ведра. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Испарение. При расчете испарения с орошаемых полей в зоне трансформации стока использовался тепловоднобалансовый метод [5, 6], имеющий в соответствии с последними исследованиями [2] минимальные погрешности. Проверка указанного метода на основе данных воднобалансовых экспедиционных исследований в бассейне р. Чон-Койсу в 1978 г. подтвердила его приемлемость для бассейна оз. Иссык-Куль.

Испарение с орошаемых угодий и осадки на приозерную равнину, мм

Год	Испарение	Осадки	Год	Испарение	Осадки
1946	720	335	1961	—	—
1947	700	380	1962	—	—
1948	720	200	1963	—	—
1949	660	370	1964	684	353
1950	690	335	1965	784	320
1951	680	375	1966	740	392
1952	680	275	1967	720	330
1953	—	—	1968	700	285
1954	660	390	1969	705	410
1955	690	285	1970	740	385
1956	690	415	1971	782	384
1957	648	333	1972	705	370
1958	718	435	1973	780	310
1959	705	450	1974	684	320
1960	700	297			

Испарение с богарных земель и площадей, занятых естественной растительностью, приравнивалось к слою выпавших на них осадков. Такое допущение, вызванное отсутствием данных, достаточно условно, так как в периоды ливневых дождей на этих площадях происходит формирование стока, оценка которого будет произведена после проведения специальных экспедиционных исследований.

Результаты расчета испарения с орошаемых угодий Иссык-Кульской котловины приведены в табл. 3.

Изменение запасов грунтовых вод. Наблюдения за уровнем грунтовых вод в Иссык-Кульской котловине начались в 1948 г. В настоящее время в котловине насчитывается около 20 режимных скважин.

Изменение запасов грунтовых вод определялось в среднем за период с 1948 по 1974 г. и составило $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Это значение не выходит за пределы точности определения остальных компонентов водного баланса зоны трансформации стока.

Приток в озеро. Значения суммарного притока воды в озеро поверхностным и подземным путем, определенные по уравнению (1), приведены в табл. 2.

Безвозвратные потери воды, забираемой на орошение, равные разности между испарением и осадками, составляют в среднем около 45 % водозабора из рек Иссык-Кульской котловины (табл. 2).

Для разделения суммарного притока воды в озеро на поверхностный и подземный рассчитывались водные балансы бассейнов наиболее изученных рек каждого из районов: для I района — р. Торуйгыр, для II — реки Тоссор и Джууку, для III — р. Чолпон-Ата,

для IV, V, VI — реки Тюн, Джергалан и Каракол, для VII района — р. Чон-Аксу.

В соответствии с отношением подземного притока к суммарному для рек-аналогов производилось выделение поверхностной и подземной составляющей притока в озеро для каждого района (табл. 4).

Таблица 4

Годовой водный баланс районов зоны трансформации стока в среднем за период 1946—1974 гг.

Составляющие водного баланса	Район					Всего зона
	I	II	III	IV—VI	VII	
Приток из зоны формирования, м ³ /с	10,0	32,0	17,5	58,2	9,5	127
Осадки, м ³ /с	0,28	2,34	1,30	8,0	0,82	12,7
Испарение, м ³ /с	2,10	6,36	3,40	13,4	1,91	27,2
Поверхностный приток в озеро, м ³ /с	0,00	18,2	2,44	25,6	3,80	50,0
Подземный приток в озеро, м ³ /с	8,18	9,8	13,0	27,3	3,80	62,5
Безвозвратные потери на орошение, м ³ /с	1,82	4,02	2,10	5,4	1,09	14,5
Доля подземного притока в озеро, %	100	35	84	52	50	56

Среднемноголетнее значение подземного притока в озеро, полученное таким путем, совпадает с подземным притоком 62,8 м³/с, рассчитанным в 1978 г. Управлением геологии Киргизской ССР с использованием гидрогеологических методов.

Выводы

1. Средний приток воды из зоны формирования стока равен 127 м³/с.

2. Безвозвратные потери стока на орошаемых полях составляют в среднем 14,5 м³/с (45 % водозабора). Недоучет потерь стока может привести к завышению притока воды в озеро, достигающему в засушливые годы до 20—25 %.

3. Таким образом, среднемноголетний приток воды в озеро равен 112 м³/с. Подземным путем в озеро приходит в среднем около 56 % суммарного притока воды, причем доля подземного притока изменяется от 100 % в западной части котловины до 35 % на южном побережье озера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков М. Н. О регулировании водного баланса и уровня озера Иссык-Куль. — Изв. АН Киргизской ССР, 1969, с. 21—24.
2. Вершинин А. П. К вопросу об оценке точности определения суммарного испарения и испаряемости. — Труды ГГИ, 1976, вып. 230, с. 57—67.

3. Крюков В. Ф. Методика последовательной комплексной регрессии. Расчеты притока в озера и водохранилища за различные интервалы времени.— Труды ГГИ, 1980, вып. 274.
4. Раткович Д. Я. Водный баланс и режим уровня озера Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 20—33.
5. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши.— Л.: Гидрометеониздат, 1976.— 96 с.
6. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 374 с.
7. Цигельная И. Д. Водный баланс озера Иссык-Куль.— Материалы гляциологических исследований, 1960, вып. 2. Изд-во АН Киргизской ССР, Фрунзе, с. 91—96.

М. И. Кривошей, Т. П. Гронская

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ОСАДКОВ НА АКВАТОРИЮ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Наблюдения за осадками в Иссык-Кульской котловине начаты в 1881 г., с момента организации метеорологической станции в г. Пржевальске. В настоящее время осадки измеряются на 50 осадкомерных постах, 6 метеостанциях и 4 суммарными осадкомерами.

Распределение осадков отличается значительной пространственной изменчивостью (от 100 мм на западе до 500—600 мм на востоке), обусловленной особенностями расположения котловины, в частности ее орографической замкнутостью, благодаря чему затруднен обмен воздухом между котловиной и окружающей ее территорией. Адвекция воздуха в котловину осуществляется с запада через пониженные части хребтов Киргизского и Кунгей-Алатау и частично по Боомскому ущелью, а также с востока через перевал Санташ. Воздушные массы, вторгающиеся в котловину с запада, опускаются в результате нисходящих движений и не достигают состояния насыщения. В дальнейшем по мере движения над озером воздух обогащается влагой, частично задерживается хребтами, вследствие чего в восточной части котловины наблюдается отмеченное выше увеличение осадков.

По своему происхождению осадки, выпадающие в котловине, подразделяются на внешние и внутренние. Внешние осадки, вызванные северо-западными и западными вторжениями, выпадают в основном в холодный период года (ноябрь—март). Внутренние осадки, обусловленные бризовой циркуляцией, выпадают преимущественно в теплый период года (апрель—октябрь). По данным береговых станций и постов осадки холодного периода составляют около 50 мм, теплого — 240 мм.

Влияние бризовой циркуляции распространяется не на все озеро. В теплый период года в центре озера осадки либо совсем не выпадают, либо их выпадает незначительное количество. По этой причине определение осадков на акватории озера по данным береговых станций является некорректным. Согласно данным наблюдений на озерах с бризовой циркуляцией, годовые осадки, вы-

падающие на их поверхность, в среднем на 10—20 % меньше, чем на береговых станциях. Так, например, на оз. Байкал (Б. Ушканьи острова) в среднемноголетнем разрезе выпадает 306 мм, а на береговых станциях Солнечное и Нижнее Изголовье — 376 мм осадков [3]. На оз. Севан (островная ГМО) выпадает 533 мм, а на берегу 575 мм [4].

Таким образом, если осадки на акваторию оз. Иссык-Куль определять по береговым станциям, то ошибка (в сторону завышения) должна составлять в среднем 40—50 мм, что соизмеримо со значением падения уровня озера (5—6 см). По этой причине представляет несомненный интерес попытка расчета осадков, выпадающих на поверхность озера.

Расчет осадков производился несколькими способами. Одним из них являлся расчет по среднемноголетним изогнетам, построенным для холодного и теплого периодов года. Карты изогнет (рис. 1 а, б) строились, исходя из предположения, что в теплый период года в центре озера количество осадков уменьшается по сравнению с береговой территорией на 15 %, а в холодный период их выпадает столько же, сколько и на прибрежных станциях. Косвенным подтверждением уменьшения количества осадков в центральной части озера по сравнению с прибрежной территорией является уменьшение там нижней и общей облачности, полученное при анализе спутниковой информации [5]. Однако использование вышеприведенных карт изогнет для расчета среднегодовых осадков приводит к ошибкам, так как в отдельные годы с усиленной бризовой циркуляцией уменьшение осадков на озере может быть более значительным, чем в среднемноголетнем масштабе. Так, например, в 1968 г. на Б. Ушканьих островах (оз. Байкал) выпало только 40 % суммы годовых осадков на береговых станциях.

Формирование осадков является сложным, многофакторным процессом. В результате анализа месячных сумм осадков, выпавших на берегу, удалось установить ряд интересных закономерностей. Естественно было бы более правильным рассматривать не месячные суммы осадков, а каждый конкретный дождь отдельно. Но такой анализ предполагает знание многих метеорологических параметров: распределение по высоте температуры и влажности воздуха, границ облака и его водности, скорости вертикальных токов, коэффициента турбулентного обмена и его изменений с высотой и др. Такие данные можно получить, имея, как минимум, результаты зондирования атмосферы. Отсутствие необходимой информации обусловило схематизацию анализа — рассматривалось фиктивное «среднемесячное облако». Нижняя граница такого облака, равная высоте уровня конденсации, определялась по аэрограмме или рассчитывалась по формуле Ферреля

$$Z_k = 122 (T_0 - \tau_0), \quad (1)$$

где Z_k — высота уровня конденсации; T_0 и τ_0 — абсолютные значения температуры воздуха и точки росы у земли.

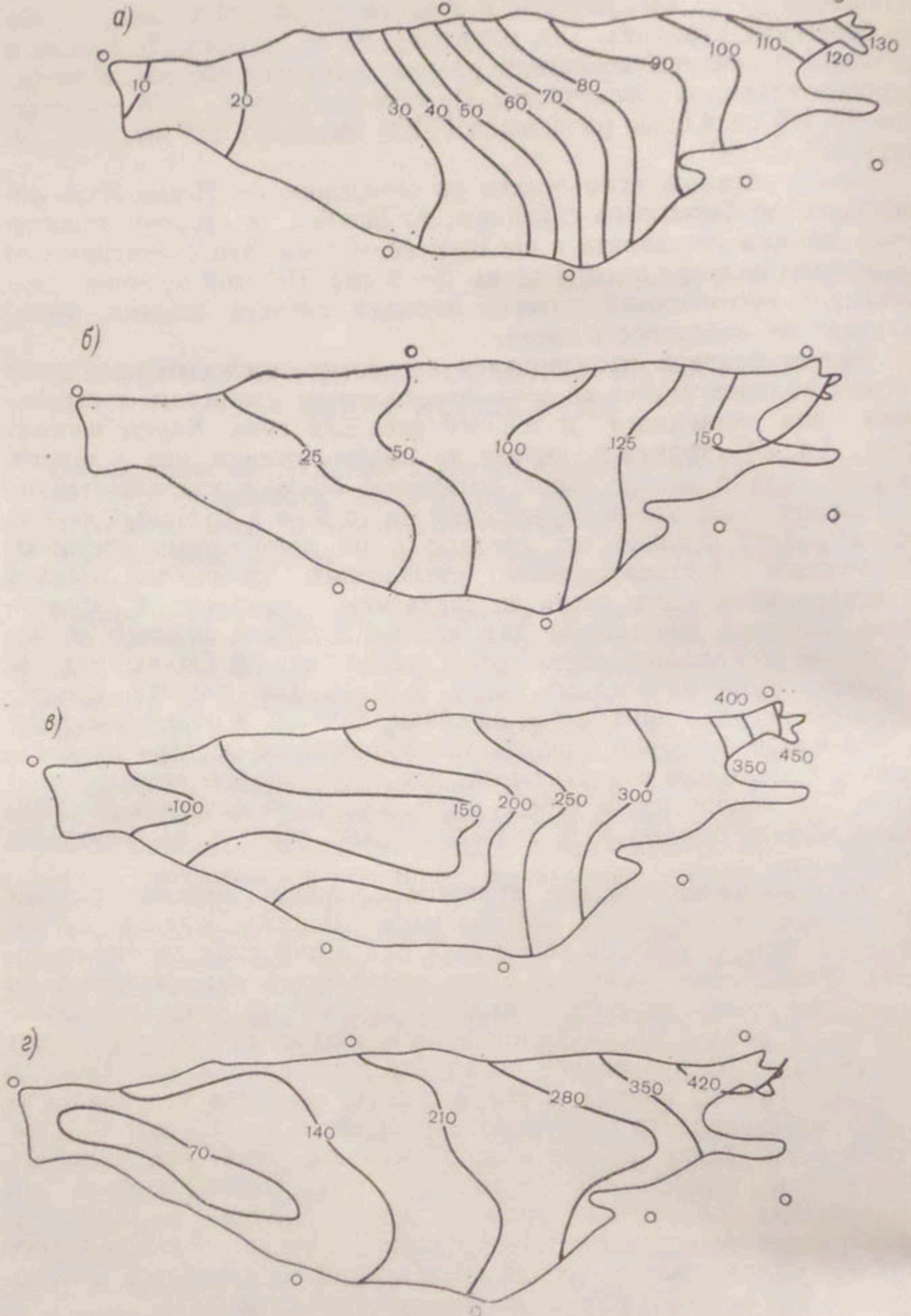


Рис. 1. Карты изогийет для холодного (а и в) и теплого (б и г) периодов, построенные на основе предположения об уменьшении осадков к центру озера в теплый период на 15 % (а и б) и рассчитанные по зависимости осадков от дефицита влажности воздуха (в и г).

Формула (1) выведена для случая, когда градиент температуры воздуха по высоте равен сухоадиабатическому ($\gamma_a = 1^\circ\text{C}/100\text{ м}$). Зная высоту уровня конденсации, можно по аэрограмме определить давление воздуха на этом уровне (P_k). На рис. 2 а, б показана зависимость среднегодовы́х месячных сумм осадков от давления воздуха на уровне конденсации для метеостанции Чолпон-Ата, расположенной в центральной части северного побережья озера. Этот рисунок отражает годовой ход осадков и давления.

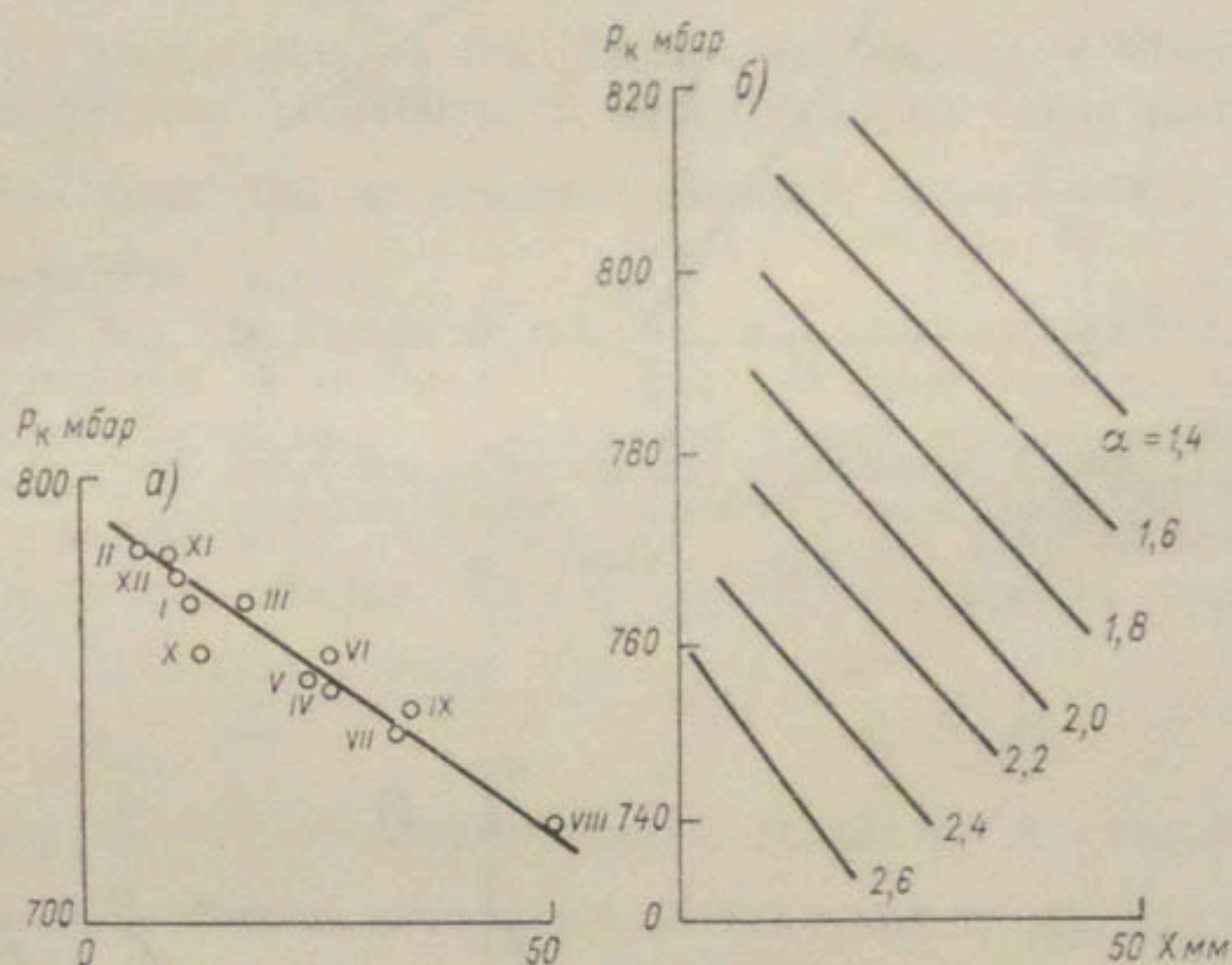


Рис. 2. Зависимость среднегодовы́х месячных сумм осадков (X) на метеостанции Чолпон-Ата (а) и осадков в марте на всех метеостанциях бассейна оз. Иссык-Куль (б) от давления на уровне конденсации (P_k).

На рис. 2 в, г показана среднегодовы́х (1960—1975 гг.) зависимость сумм осадков, выпавших на всех береговых станциях в марте, от давления на уровне конденсации при фиксированном значении дефицита влажности воздуха (d). На рис. 2 видно, что при $P_k = \text{const}$ дефицит влажности уменьшается с увеличением осадков.

На рис. 3 приведена зависимость осадков в июле на метеостанции Покровка в разные годы от высоты уровня конденсации. Неоднозначность этой зависимости свидетельствует о том, что высота уровня конденсации (или нижняя граница облачности) не является единственным определяющим фактором. Попытка устранить неоднозначность привела к построению зависимости осадков от максимальной водности облака (рис. 4 а). Максимальная

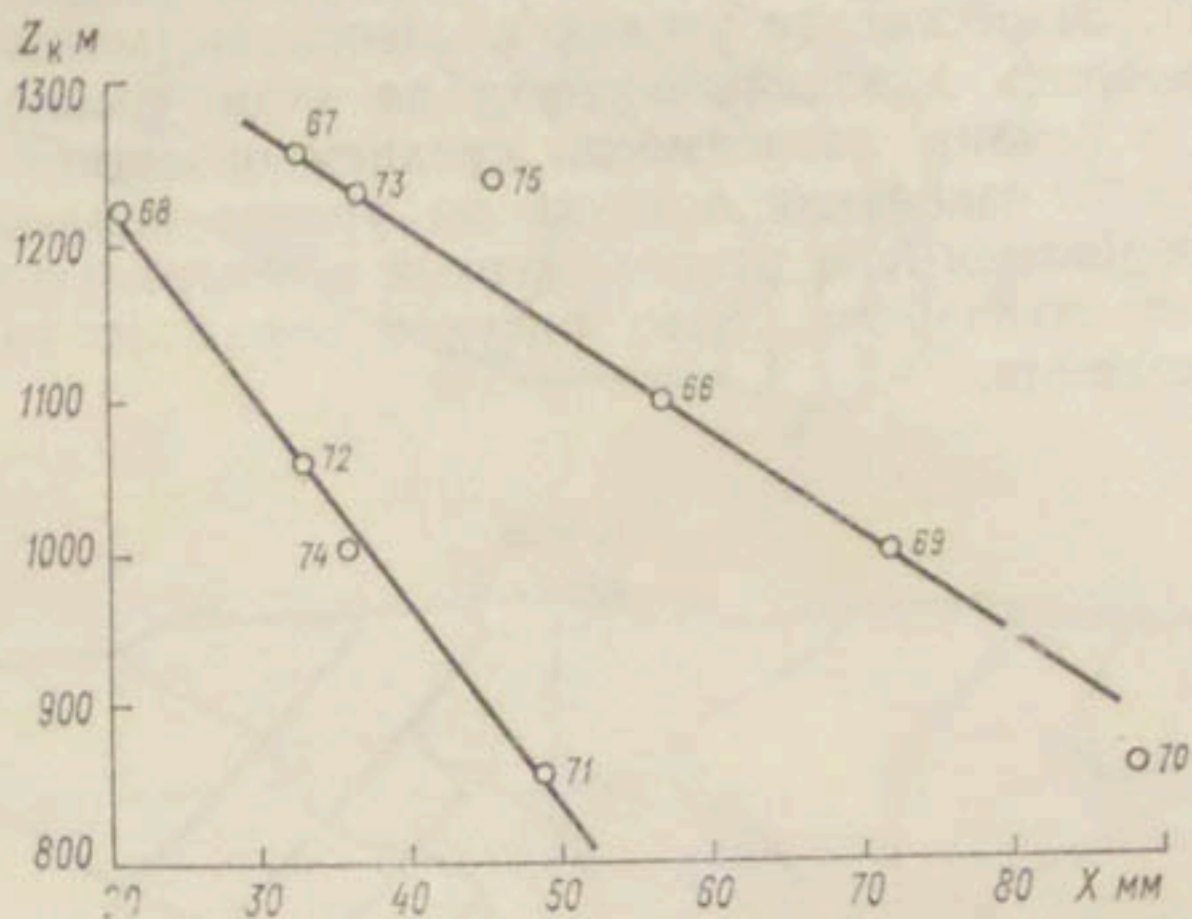


Рис. 3. Зависимость осадков на метеостанции По-
кровка в июле от высоты уровня конденсации.
Цифры у точек — годы.

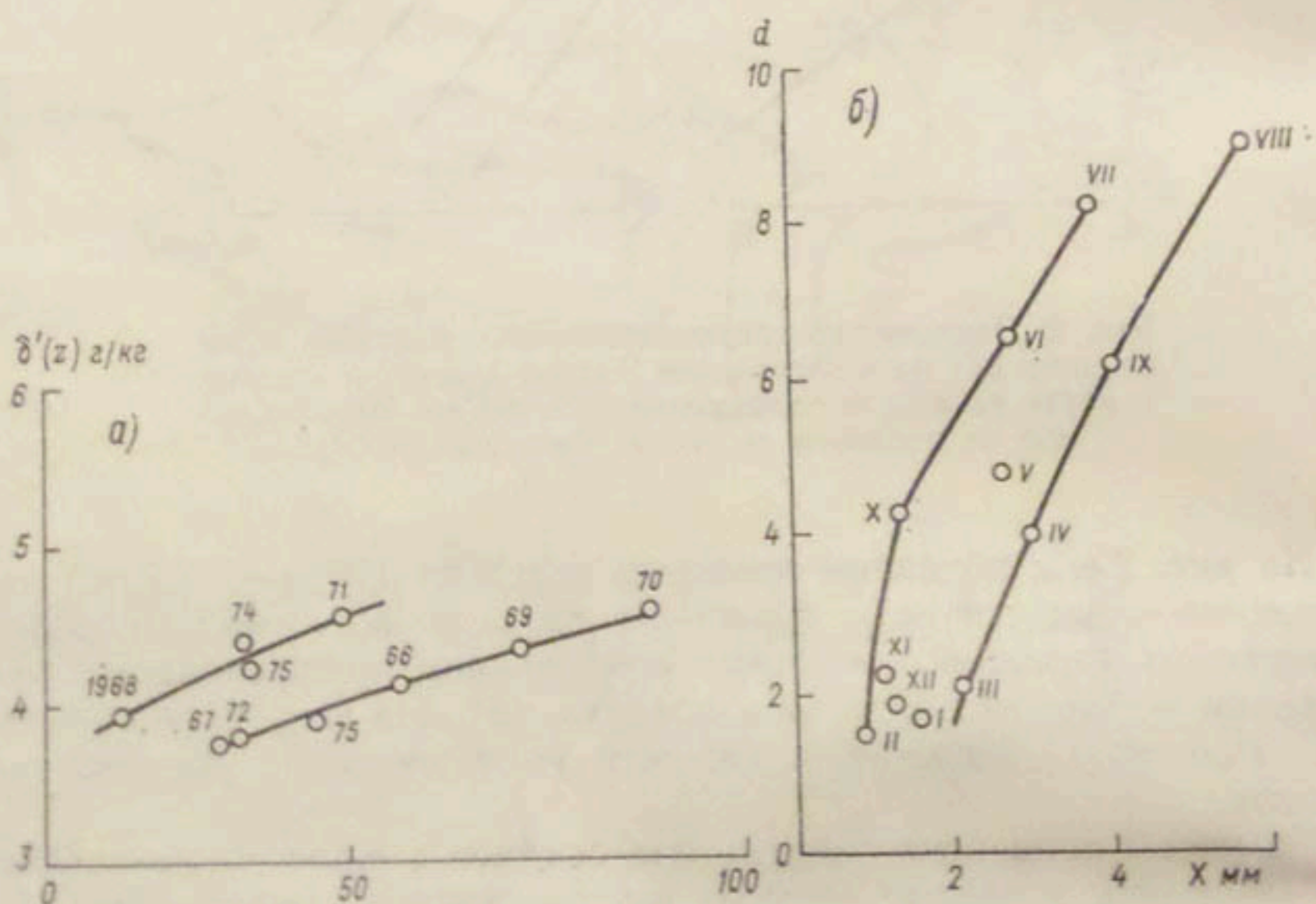


Рис. 4. Зависимость месячных сумм осадков (X) на метеостанции По-
кровка (а) и Чолпон-Ата (б) от максимальной влажности облаков $\delta'(z)$
и дефицита влажности воздуха (d).

Арабские цифры у точек — годы, римские — месяцы.

водность облака рассчитывалась без учета вертикальной скорости ($\omega=0$) по формуле [2]

$$\frac{\delta'(z)}{S_k} = \left(1 - \frac{z}{H^*}\right) \exp\left(-\frac{H^*}{B} \frac{z}{H^*}\right), \quad (2)$$

где $\delta'(z)$ — водность облака, г/кг; S_k — удельная влажность на уровне нижнего основания облака; z — высота от нижнего основания облака; H^* — высота тропопаузы, принятая равной 11 км; $\frac{1}{B} = b\gamma - \frac{1}{H_1}$, $b = \frac{L}{R_n \tau_1^2}$, L — удельная теплота парообразования, $R_n = 0,110$ кал/(г·К); γ — вертикальный градиент температуры, принятый равным $1^\circ\text{C}/100$ м; τ_1 — температура точки росы у земной поверхности (по абсолютной шкале); $H_1 = \frac{R\tau_1}{g}$, R — удельная газовая постоянная.

Однако, как это видно на рис. 4а, и в этом случае сохраняется неоднозначность зависимости, хотя разброс точек несколько уменьшился. По-видимому, причиной такой неоднозначности является недоучет двух важных факторов: скорости вертикальных токов и коэффициент турбулентного обмена. При наличии этих данных водность облака должна рассчитываться по формуле [2]

$$\frac{\delta(z)}{S_k} = \frac{r - r^{z/H^*}}{r - 1} \exp\left(-\frac{H^*}{B} \frac{z}{H^*}\right), \quad (3)$$

где $r = \exp\left(\frac{\omega}{K} \cdot H\right)$; ω — вертикальная скорость; K — коэффициент турбулентного обмена, остальные обозначения те же, что и в формуле (2).

Пренебрежение скоростью вертикальных токов является довольно грубым допущением, так как в летнее время при преобладании кучевой облачности большая энергия неустойчивости приводит к развитию мощных конвективных движений. Анализ отклонений кривой стратификации, построенной по срочным среднемесячным значениям температуры воздуха, от кривой состояния свидетельствует о том, что максимальная энергия неустойчивости наблюдается в 6 ч утра московского времени (9 ч местного), отрицательная энергия неустойчивости (т. е. преобладание нисходящих движений) в 9 и 12 ч. По-видимому, построение зависимостей количества осадков от энергии неустойчивости в утренние часы является перспективным направлением в разработке методики расчета осадков.

К сожалению, почти все приведенные выше зависимости, построенные для береговых станций, непригодны для расчета осадков на озере. Покажем это на примере.

Высота уровня конденсации и давление воздуха на этом уровне зависят, как это видно из формулы (1), от дефицита точки росы. На озере вследствие повышенной влажности дефицит точки росы меньше, чем на суше. Следовательно, уровень конденсации на

озере должен быть расположен ниже, чем на берегу, т. е. на озере, согласно рис. 3, должно выпадать больше осадков, что не подтверждается наблюдениями на других озерах (Байкал, Севан). При наличии сведений о коэффициенте турбулентности и скорости конвективных движений высота уровня конденсации на озере должна рассчитываться по более сложной формуле, чем формула (1), что привело бы к повышению уровня конденсации по сравнению с берегом, уменьшению толщины облака и его водности и, как следствие, к снижению количества осадков. Другой причиной занижения рассчитанной для озера нижней границы облаков или уровня конденсации является, вероятно, незнание истинных вертикальных градиентов температуры воздуха над озером и их отклонение от сухадиабатического закона.

Единственными из зависимостей, позволяющими рассчитать осадки на озере, являются зависимости месячных сумм осадков от среднемесячного давления на уровне конденсации и от среднемесячного дефицита влажности воздуха (рис. 2а, рис. 4б). Парадоксальность последней зависимости (увеличение осадков с увеличением дефицита влажности) по сравнению с рис. 2 объясняется тем, что на рис. 4б отражен годовой ход осадков и дефицита влажности, используя который можно интерполировать значения осадков. Проверка правомерности использования этой зависимости производилась по материалам наблюдений на озерах Байкал и Севан. Расчет осадков на этих озерах производился по графикам $X=f(d)$ (X — осадки, d — дефицит влажности), построенным для береговых станций (Нижнее Изголовье и Солнечное на Байкале, Севан ГМС и Шоржа на Севане). Входя в этот график с дефицитом влажности на озере, получаем осадки, значения которых сравнивались с данными наблюдений на береговых станциях. В табл. 1 приведены результаты такого сравнения. Как видно из данных этой таблицы, результаты расчетов более чем удовлетворительно согласуются с наблюдениями.

Применительно к оз. Иссык-Куль расчет среднегодовое осадков (1960—1974 гг.) производился следующим образом.

1. Для каждой метеостанции производилось приведение температуры воздуха к береговой линии на высоте 2 м над уровнем озера по градиентам, определенным по многолетним наблюдениям над температурой воздуха на различных высотах в бассейне р. Чон-Кызыл-Су. Абсолютная влажность воздуха, соответствующая приведенной к уровню озера температуре, снималась с эмпирических графиков зависимости влажности от температуры, построенных для каждой метеостанции. Далее рассчитывался дефицит влажности и строился график зависимости $X=f(d)$.

2. Расчет осадков на озере осуществлялся при помощи графика $X=f(d)$, построенного для ближайшей к данной точке на озере метеостанции по дефициту влажности, соответствующему условиям на озере.

На рис. 1в, г приведены рассчитанные таким образом средне-многолетние изогипсы для теплого и холодного периодов года, от-

Сравнение рассчитанных и наблюдаемых осадков на акватории озер Байкал и Севан

Год	Холодный период (XI–III)			Теплый период (IV–X)			Год		
	берег	озеро	$K = \frac{\text{озеро}}{\text{берег}}$	берег	озеро	$K = \frac{\text{озеро}}{\text{берег}}$	берег	озеро	$K = \frac{\text{озеро}}{\text{берег}}$
оз. Байкал (Б. Ушканья острова)									
1968	188	$\frac{48}{49}$	$\frac{0,26}{0,26}$	169	$\frac{91}{94}$	$\frac{0,54}{0,56}$	356	$\frac{39}{143}$	$\frac{0,39}{0,40}$
1891–1965	125	$\frac{91}{91}$	$\frac{0,73}{0,73}$	250	$\frac{215}{206}$	$\frac{0,86}{0,82}$	376	$\frac{306}{297}$	$\frac{0,81}{0,79}$
оз. Севан									
1891–1965	216	$\frac{175}{175}$	$\frac{0,81}{0,79}$	359	$\frac{358}{347}$	$\frac{1,00}{0,95}$	575	$\frac{533}{517}$	$\frac{0,93}{0,90}$

Примечание. В числителе — наблюдаемые осадки, в знаменателе — рассчитанные. В данных за холодный период 1968 г. на оз. Байкал отсутствуют осадки в октябре (пропуски в наблюдениях).

личающиеся от изогнет на рис. 1 а, б. Как видно на рис. 1 в, г, в теплый период года наблюдается довольно значительное убывание осадков от береговой черты к центру озера, наиболее интенсивное в западной части (залив Рыбачий) и вдоль южного побережья. В целом, согласно расчетам, в теплый период на озере выпадает на 20 % меньше, а в холодный — такое же количество осадков, как и на берегу. Среднемноголетний среднегодовой коэффициент уменьшения осадков на озере равен 0,85. Проверить правильность расчета осадков на акватории оз. Иссык-Куль не представляется возможным из-за отсутствия наблюдений. В качестве контроля произведены расчеты для двух озерных вертикалей, расположенных в районе метеостанции Красный Октябрь (вертикаль 29) и Чолпон-Ата (вертикаль 1) по зависимости береговых осадков от давления воздуха на уровне конденсации (рис. 2 а). Результаты расчетов, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о неплохой их сходимости. Наиболее существенные различия наблюдаются в суммах осадков в апреле и октябре. По-видимому, это объясняется влиянием инверсий температуры воздуха, в результате которых не соблюдается сухоадиабатический градиент и расчет давления на уровне конденсации должен производиться по формуле, учитывающей реальные градиенты температуры [2].

В дальнейшем для уточнения методики расчета осадков, выпадающих на акваторию оз. Иссык-Куль, предполагается провести следующие исследования:

Сравнение осадков на оз. Иссык-Куль (мм), рассчитанных по береговым зависимостям осадков от дефицита влажности (d) и давления на уровне конденсации (P_n)

Вертикаль	Месяц												Холодный период (XI—III)	Теплый период (IV—X)	Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
1	$\frac{5}{4}$	$\frac{24}{24}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{24}{4}$	$\frac{24}{20}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{33}{31}$	$\frac{61}{60}$	$\frac{38}{37}$	$\frac{17}{25}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{15}{13}$	$\frac{60}{57}$	$\frac{211}{201}$	$\frac{271}{258}$
29	$\frac{31}{33}$	$\frac{26}{30}$	$\frac{32}{30}$	$\frac{53}{37}$	$\frac{36}{37}$	$\frac{69}{65}$	$\frac{86}{78}$	$\frac{81}{81}$	$\frac{72}{78}$	$\frac{58}{76}$	$\frac{58}{57}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{190}{190}$	$\frac{458}{452}$	$\frac{648}{642}$

Примечание. В числителе — осадки, рассчитанные по зависимости $X = f(d)$, в знаменателе — по $X = f(P_n)$.

1. Оценить осадки по разнице между влагосодержанием вертикального столба атмосферы и испарением.

2. Рассчитать потоки тепла, используя данные градиентных наблюдений экспедиции ГГИ в 1977—1978 гг., тем самым уточнив вертикальный профиль температуры воздуха. Эти данные необходимы для корректного расчета уровня конденсации, энергии неустойчивости, толщины и водности облаков над озером.

3. Уточнить приведенные в работе зависимости, используя не среднемесячные значения метеорологических элементов, а среднемесячные значения в утренние сроки, когда наблюдаются наиболее интенсивные конвективные токи, приводящие к образованию осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гронская Т. П., Фуксова Т. В. О расчете испарения с акватории озера Иссык-Куль.— См. настоящий сборник.
2. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии.— Л.: Гидрометеиздат, 1976.— 639 с.
3. Справочник по климату СССР, вып. 22.— Л.: Гидрометеиздат, 1968.— 279 с.
4. Справочник по климату СССР, вып. 16.— Л.: Гидрометеиздат, 1968.— 214 с.
5. Тарасов А. И. Облачность над озером Иссык-Куль и вероятность выпадения осадков из нижней облачности.— См. настоящий сборник.
6. Wilson G. W. Effect of Lake Ontario on Precipitation. Monthly weather Review, vol. 105, N 2, february 1977, pp. 207—214.
7. Riebsam William E., Woodley William L., Davis Frederick E. Radar inference of Lake Okeechobee rainfall for use in environmental studies. "Weatherwise", 1974, 27, N 5, pp. 206—211.

А. И. Тарасов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАЧНОСТИ НАД ОЗЕРОМ ИССЫК-КУЛЬ И ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫПАДЕНИЯ ОСАДКОВ ИЗ ОБЛАКОВ НИЖНЕЙ ОБЛАЧНОСТИ

Облачность является одним из метеорологических элементов, оказывающих влияние на радиационный баланс, осадки, испарение и в конечном счете существенно влияющих на соотношение элементов водного баланса гидрологических объектов. В связи с этим изучение распределения облачности над акваторией оз. Иссык-Куль представляет значительный интерес.

Известно, что над акваторией крупных озер и водохранилищ происходит размыв облачных образований. В этих случаях наблюдения на береговых метеостанциях не отражают истинного распределения облачности над водоемом.

Для анализа распределения общей облачности над оз. Иссык-Куль были привлечены материалы спутниковой информации. В работе использовались ТВ-снимки с искусственных спутников Земли (ИСЗ) «Метеор» (СССР), «NOAA» (США) и фотомонтажи, составленные в ГосНИЦИПре за 1974—1975 гг. Годными к обработке были признаны 475 фотоснимков. Снимки увеличивались, по ним с помощью палетки определялась степень покрытости акватории общей облачностью. Точность измерения составляла $\pm 5\%$ площади акватории. Разница во времени между моментом съемки из космоса и наземными наблюдениями за облачностью не превышала 1,5 ч. Количество облачности по наземным наблюдениям вычислялось как среднее арифметическое четырех опорных метеостанций: Рыбачье, Чолпон-Ата, Тамга, Пржевальск.

После осреднения поля точек по вертикальным сечениям был построен график связи степени покрытости озера облаками по данным ИСЗ с осредненной облачностью по наземным станциям (рис. 1). Облачность над озером по данным ИСЗ оказалась меньше облачности, определенной по береговым метеостанциям, причем эта разница уменьшается по мере увеличения облачности. При малых значениях облачности на береговых станциях

(3 баллов) акваторию озера практически можно считать свободной от облаков.

Для построения карт общей облачности вся акватория оз. Иссык-Куль была разбита на 4 участка: 1) западный участок (в районе метеостанции Рыбачье); 2) северный (метеостанция Чолпон-Ата); 3) южный (метеостанция Тамга); 4) восточный (метеостанция Пржевальск). Границы участков выбирались с учетом наличия на берегу четких ориентиров для определения границ участков на фотоснимке. Зная общую облачность на любой из опор-

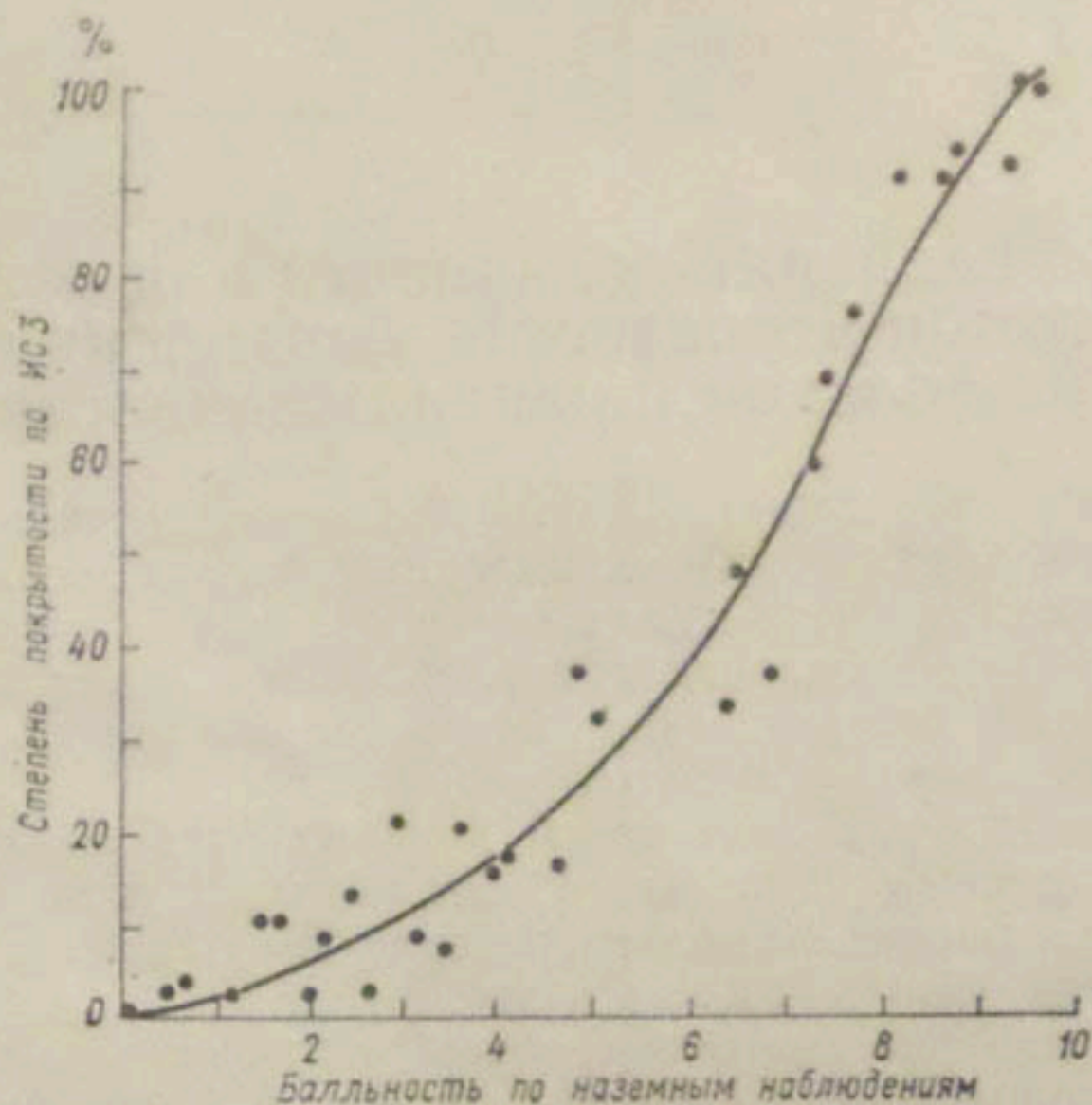


Рис. 1. График связи степени покрытости озера облаками по данным ИСЗ и наземным наблюдениям.

ных метеостанций, можно получить, используя график на рис. 1, степень покрытости облачностью различных участков акватории. Полученная таким образом величина общей облачности относилась к центру тяжести участка. Далее, используя линейную интерполяцию, проводились изолинии общей облачности над озером (рис. 2 а).

Для построения карт нижней облачности над озером (рис. 2 б) использовались корреляционные графики зависимости между общей и нижней облачностью на опорных метеостанциях.

Анализ распределения общей и нижней облачности над акваторией оз. Иссык-Куль, проведенный для ряда лет, позволил сделать следующие выводы:

1. Облачность над озером всегда меньше облачности на береговых станциях.

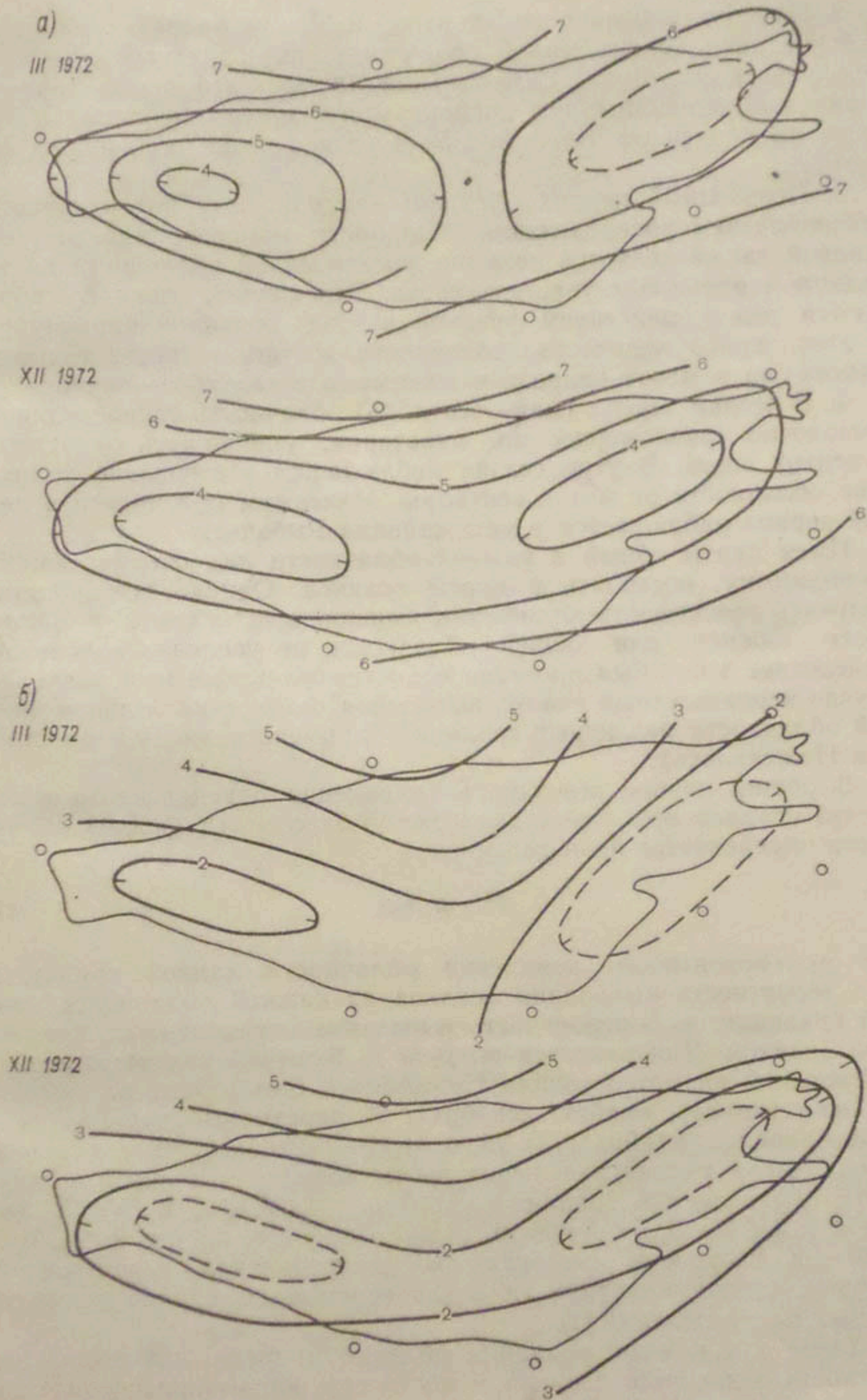


Рис. 2. Распределение общей (а) и нижней (б) облачности над акваторией озера в марте и декабре 1972 г.

2. Для зимнего периода (январь, ноябрь, декабрь) характерно наличие двух «окон» малой облачности над западным и восточным участками озера. Центральная часть в это время закрыта облаками, по-видимому, конвективного происхождения. Облачность на периферии озера в 1,5—2 раза меньше облачности над центром.

3. Переходный период (февраль—апрель, октябрь) отличается разнообразием распределения облачности, но преобладающей ситуацией также является наличие «окон» малой облачности на западном и восточном участках озера. Эти «окна», очевидно, образуются под воздействием феновой и горно-долинной циркуляций. В этот период количество облачности достигает своего годового максимума в марте—апреле и минимума в сентябре—октябре.

4. В летний период (май—сентябрь) облачность распределяется достаточно равномерно по акватории, уменьшаясь от берегов к центру озера. Внутри сезона наблюдается уменьшение количества облачности от мая к сентябрю. Максимум облачности в летний период наблюдается у метеостанции Рыбачье.

Имея карты общей и нижней облачности над озером, можно, по-видимому, построить и карты осадков. Однако все попытки получить зависимость количества выпадающих осадков от балльности нижней или общей облачности не увенчались успехом. Вследствие этого был проведен единственно возможный в данном случае вероятностный анализ выпадения осадков из облаков нижней облачности различных градаций (применительно к метеостанции Пржевальск).

В общем случае вероятность выпадения определенного количества осадков при фиксированной (N) балльности нижней облачности определяется произведением

$$P = p_1 p_2 p_3, \quad (1)$$

где p_1 — вероятность появления облачности данной градации; p_2 — вероятность выпадения осадков из нижней облачности данной градации; p_3 — вероятность выпадения определенного количества осадков. Для расчетов p_1 , p_2 и p_3 9-летний ряд ежедневных наблюдений на метеостанции Пржевальск был разбит на сезоны: 1) зима (январь, ноябрь, декабрь); 2) переходный период (февраль—апрель, октябрь); 3) лето (май—сентябрь). Для каждого сезона была рассчитана вероятность появления нижней облачности определенной градации: $0 \leq N \leq 1$; $1 < N \leq 2$; $2 < N \leq 3$; $3 < N \leq 4$; $4 < N \leq 5$; $5 < N \leq 6$; $6 < N \leq 7$; $7 < N \leq 8$; $8 < N \leq 9$; $9 < N \leq 10$ — и построены гистограммы распределения вероятностей, которые можно отнести к типу одновершинных, крайне асимметричных распределений [1].

Далее для каждой градации облачности была определена вероятность выпадения осадков и построены кривые распределения этих вероятностей. Кроме того, для каждой градации облачности построены кривые обеспеченности осадков и вычислены их стати-

стические параметры (среднее, C_v , C_x). В среднем изменчивость осадков увеличивается от лета к зиме (табл. 1).

В качестве теоретической аппроксимации кривых обеспеченности осадков выбрана биномиальная кривая ($C_x = 2C_v$). Далее были построены графики связи балльности нижней облачности с осадками 50, 75 и 90 %-ной обеспеченности для трех периодов года (рис. 3).

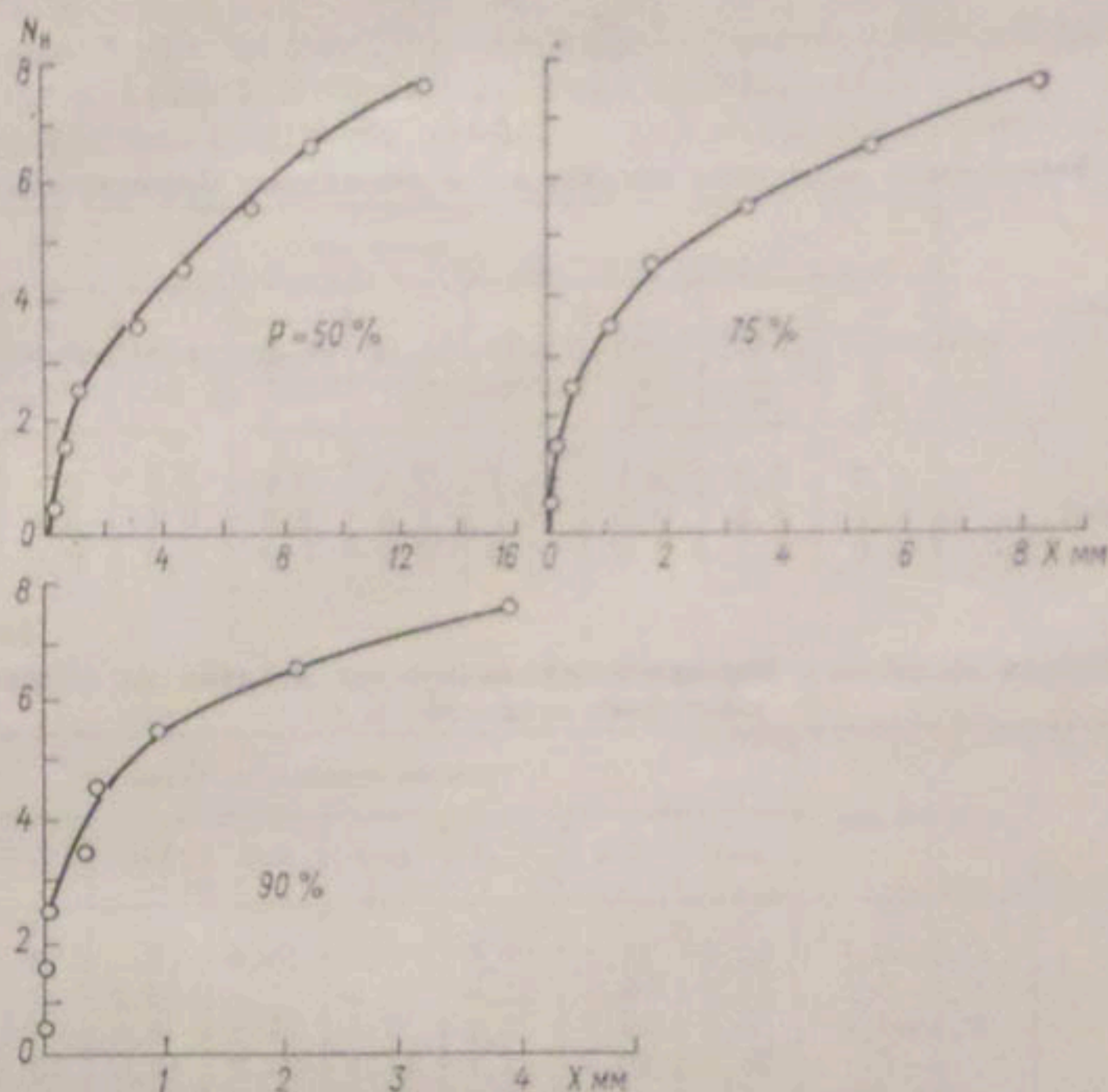


Рис. 3. Графики зависимости суточных сумм осадков определенной обеспеченности от среднесуточной нижней облачности за летний период года.

В табл. 2 помещены результаты расчетов вероятности выпадения определенного количества осадков по формуле (1). Как видно из данных этой таблицы, рассчитанные вероятности очень малы. Это объясняется тем, что в районе Пржевальска значения вероятности появления облачности и выпадения осадков малы. Для упрощения задачи проведен расчет вероятности выпадения определенного количества осадков в предположении, что вероятность появления облачности данной градации и выпадения из нее осадков равны 100 % (табл. 3).

Проведенный вероятностный анализ позволил сделать следующие выводы:

Таблица 1
Параметры кривых обеспеченности осадков
на метеостанции Пржевальск

Характеристика	Период года	
	летний	зимний
C_p	5,8	2,1
C_v	0,99	1,27
C_s	1,60	2,00

Таблица 2
Вероятность выпадения осадков на метеостанции Пржевальск

Период	Осадки, мм						
	0,0-0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1-5	5-10	10-20	20-30
Летний	6,0	5,7	3,5	13,0	7,0	3,8	0,6
Переходный	6,1	5,8	2,5	11,7	4,0	2,2	0,4
Зимний	5,0	4,7	3,4	10,9	2,1	1,0	0,0

Таблица 3
Вероятность выпадения определенного количества осадков из облачности
различных градин, %

Период	Осадки, мм							
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Лето	0,0-0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1-5	5-10	10-20	20-30	30-50
Переход- ный период	52,4	14,3	4,8	28,6	0	0	0	0
	28,4	18,6	13,7	29,4	7,8	2,0	0	0
	23,5	27,9	5,9	35,9	7,4	0	0	0
	20,0	17,5	7,5	42,5	12,5	0	0	0
	5,3	15,8	10,5	57,9	5,3	0	0	0
Зима	39,4	24,2	21,2	12,1	3,0	0	0	0
	28,3	28,3	6,5	34,8	2,2	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

1. В тех случаях, когда среднесуточная нижняя облачность превышает 4 балла в зимний и переходный периоды и 5 баллов в летний период, с вероятностью более 90 % можно утверждать, что осадки выпадут.

2. Вероятность выпадения осадков, рассчитанная с учетом вероятности появления облачности, очень мала. Вероятность выпадения осадков, рассчитанная без учета вероятности появления облачности, летом равна 40 %, в переходный период — 33 %, зимой — 27 %.

3. Кривая обеспеченности сезонных осадков удовлетворительно описывается кривой Пирсона III типа при $C_s = 2C_v$.

4. Во все периоды года наиболее вероятны осадки от 1 до 5 мм за сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии.— Л.: Гидрометеониздат, 1974.

Т. П. Гронская, Т. В. Фуксова

О РАСЧЕТЕ ИСПАРЕНИЯ С АКВАТОРИИ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Наблюдающееся в настоящее время практически ежегодное падение уровня оз. Иссык-Куль обуславливает необходимость надежной оценки испарения с акватории озера как основной составляющей расходной части водного баланса на основе независимых методов расчета.

Непосредственные наблюдения за испарением с акватории озера не проводятся. Попытка организации таких наблюдений на испарителях системы Лермонтова—Любославского не увенчалась успехом. Однако в 17 км от озера на метеостанции Пржевальск имеется испарительная установка площадью 20 м². Анализ данных наблюдений на этой установке приводится ниже.

Исходной метеорологической информацией для расчета испарения с акватории оз. Иссык-Куль до сих пор служили данные наблюдений на береговых метеостанциях. Значения температуры и влажности воздуха и скорости ветра над акваторией рассчитывались согласно «Указаниям по расчету испарения с поверхности водоемов» [7]. Следует отметить, что полученные таким образом значения метеорологических элементов не всегда соответствуют их действительным значениям над озером, что в основном обусловлено большими размерами озера и сложными орографическими условиями Иссык-Кульской котловины.

Специально организованные экспедицией ГГИ и УГМС Киргизской ССР ежемесячные наблюдения за гидрометеорологическими элементами на суточных станциях в различных районах озера в 1978 г. (рис. 1) позволили обобщить разрозненные материалы гидрометеорологических наблюдений на акватории озера за 1964—1977 гг.

По материалам наблюдений на суточных станциях были получены коэффициенты перехода от срочных значений температуры воздуха над озером к ее среднесуточным значениям $M_i = \frac{t_i}{t_{\text{ср.сут}}}$.

Аналогичные коэффициенты были получены для тех же сроков наблюдений на метеостанции Пржевальск. Отношение срочных

коэффициентов, полученных на озере и метеостанции $\left(\alpha_i = \frac{M_{i \text{ Прж}}}{M_{i \text{ оз}}} \right)$, характеризует различия в суточном ходе температуры воздуха над озером и на суше.

Значения коэффициентов α_i для различных сроков имеют внутригодовую изменчивость, обусловленную особенностями суточного хода температуры воздуха над озером и сушей в различные сезоны года.

Так как коэффициент α_i отражает в основном специфические особенности подстилающих поверхностей и их влияние на суточный ход температуры воздуха, то естественно предположить, что коэффициент имеет только внутригодовую изменчивость, сохраняя свои значения от года к году.

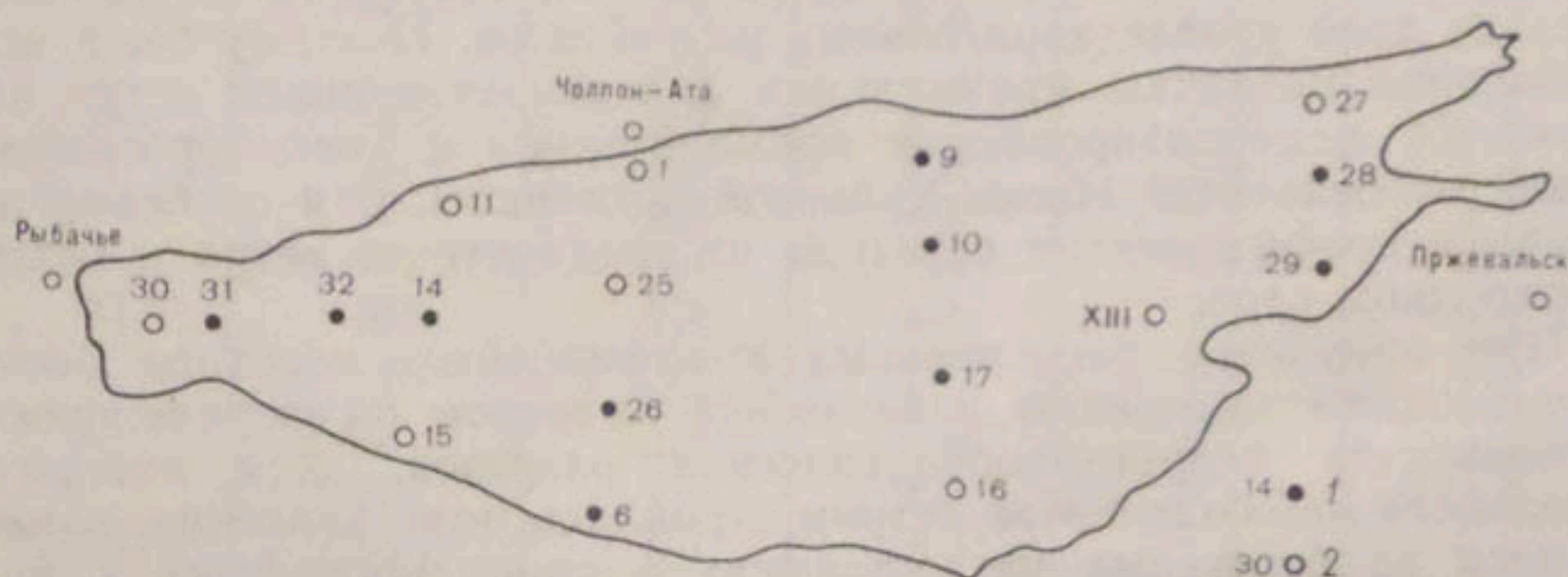


Рис. 1. Расположение пунктов ежемесячных гидрометеорологических наблюдений (1) и суточных станций (2) на акватории оз. Иссык-Куль.

Кроме того, полученные коэффициенты α_i позволяют учесть общие метеорологические условия в Иссык-Кульской котловине во время производства наблюдений за температурой воздуха на озере и рассчитать ее среднесуточные значения.

Для этого по рассчитанным для метеостанции Пржевальск срочным коэффициентам M_i и известным значениям коэффициентов α_i были получены коэффициенты перехода от срочных значений температуры воздуха над озером к среднесуточным на конкретные даты, в которые производились наблюдения в 1964—1977 гг.

Таким образом, для всех вертикалей наблюдений на озере были построены графики связи среднесуточных значений температуры воздуха на метеостанции Пржевальск и над озером.

Полученные графики связи имеют различный характер для отдельных районов озера, что объясняется особенностями их гидрометеорологического режима, и характеризуются небольшим разбросом точек, в отличие от аналогичных графиков, построенных без учета суточного хода.

Описанные выше графики были использованы для получения среднемесячных полей температуры воздуха над озером, что

является недостаточно строгим, как графики зависимости между температурой воздуха в Пржевальске и над озером не являются линейными.

Для определения значений упругости водяного пара над акваторией были построены графики связи этого элемента с температурой воздуха над акваторией озера по данным единичных наблюдений в различных частях озера. Аналогичный подход был использован для получения температуры поверхности воды в разных частях озера.

Среднегодовое значения температуры и влажности воздуха и температуры поверхности воды приведены в табл. 1.

Наибольшую трудность представляет расчет полей ветра над акваторией озера. Применение существующих в практике озерных исследований методов расчета ветра [2] для акватории оз. Иссык-Куль не дало удовлетворительных результатов. Поэтому была использована методика, применяемая для расчетов полей ветра на морях [6], модернизированная применительно к учету орографических особенностей Иссык-Кульской котловины. Эти особенности учтены в коэффициентах перехода от градиентного ветра к ветру в приводном слое.

При получении региональных коэффициентов перехода были использованы материалы наблюдений за ветром на озере во время производства гидрометеорологических разрезов. Для каждого отдельного наблюдения за ветром строились поля давления, измеренного на береговых метеостанциях в срок, ближайший к моменту наблюдений за ветром. Давление, измеренное на метеорологических станциях, расположенных на различной высоте, предварительно приводилось по барометрической формуле к уровню метеостанции Чолпон-Ата. По полученным таким образом полям давления рассчитывалась скорость градиентного ветра в районе наблюдения за ветром на озере.

Поскольку оказалось, что коэффициент перехода от градиентного ветра к ветру в приводном слое (K) зависит от стратификации приводного слоя, т. е. от разности температуры воды и воздуха ($\Delta t = t_{\text{вод}} - t_{\text{возд}}$), то полученные значения коэффициента группировались для различных градаций Δt (табл. 2). Для контроля средние месячные значения скорости ветра сопоставлялись с данными автоматических радионизмерителей ветра (АРИВ), наблюдения на которых проводились в районе Рыбачьего залива и пос. Григорьевка в разные периоды 1966—1968 гг.

Разность между рассчитанными и наблюдаемыми скоростями ветра не превысила 0,5 м/с, следовательно, можно предположить, что принятая методика позволяет достаточно надежно рассчитать скорость ветра над озером. Средние многолетние значения скорости ветра приведены в табл. 1.

К сожалению, хорошего соответствия направления ветра, полученного по полям давления, построенным указанным выше способом, с наблюдаемым не удалось получить. Наблюдающееся на береговых метеостанциях направление ветра свидетельствует

Средние многолетние месячные значения температуры и влажности воздуха, скорости ветра и температуры поверхности воды для различных частей оз. Иссык-Куль

Месяц	Номер точки на рис. 1	Температура, °C		Упругость водяного пара, мм	Скорость ветра, м/с
		воздуха	поверхности воды		
I	31	0,4	4,8	4,6	3,1
	1	0,2	4,9	4,5	2,0
	25	1,0	4,4	4,6	2,7
	16	0,5	4,8	4,6	1,6
	28	-1,0	3,8	4,4	1,7
II	31	0,5	4,8	4,6	4,6
	1	0,2	4,9	4,5	3,7
	25	1,5	4,2	4,8	3,8
	16	0,0	4,8	4,5	3,1
	28	-1,2	3,8	4,4	1,8
III	31	2,6	4,0	5,1	3,7
	1	4,0	5,0	5,6	1,2
	25	2,8	5,0	5,2	1,5
	16	3,5	5,0	5,4	2,2
	28	2,6	4,7	5,1	2,7
IV	31	6,1	7,0	6,8	2,5
	1	7,0	7,3	7,1	1,2
	25	7,5	8,0	7,3	2,0
	16	7,6	7,0	7,4	1,5
	28	6,5	7,7	6,9	1,2
V	31	10,6	11,0	9,0	2,7
	1	12,3	13,5	10,7	1,5
	25	11,4	11,4	10,0	2,0
	16	11,7	11,3	10,3	1,0
	28	11,0	11,6	9,5	1,5
VI	31	15,1	15,6	12,0	3,5
	1	18,9	18,9	13,0	1,7
	25	15,1	15,8	12,0	1,5
	16	15,3	15,9	12,2	1,5
	28	15,8	16,0	12,5	1,2
VII	31	18,9	18,9	14,0	3,2
	1	18,5	20,0	13,8	2,0
	25	18,0	18,8	13,6	2,3
	16	18,8	18,6	14,0	1,4
	28	18,6	18,8	13,9	1,2
VIII	31	19,5	19,7	14,3	3,0
	1	18,6	20,0	13,9	2,1
	25	18,1	19,6	13,7	2,3
	16	18,8	20,6	14,0	1,2
	28	19,5	20,6	14,3	1,5
IX	31	15,7	18,5	12,4	3,2
	1	15,4	18,6	12,2	2,3
	25	14,7	17,4	11,9	1,8
	16	15,8	17,6	12,4	1,5

Месяц	Номер точки на рис. 1	Температура, °C		Упругость водяного пара, мб	Скорость ветра, м/с
		воздуха	поверхности воды		
X	28	15,5	18,8	12,3	1,4
	31	10,2	15,3	8,5	3,5
	1	11,6	16,4	10,2	2,0
	25	9,6	14,0	8,1	2,1
	16	10,3	15,1	8,7	1,6
	28	10,7	15,8	9,0	1,3
XI	31	6,4	10,8	6,9	3,6
	1	6,4	9,5	7,1	1,6
	25	5,5	9,8	6,4	1,7
	16	6,1	9,7	6,8	2,2
	28	5,5	10,0	6,4	1,7
	31	2,2	7,9	5,0	3,2
XII	1	2,8	8,0	5,2	2,5
	25	3,4	7,8	5,4	2,6
	16	3,1	7,1	5,3	2,3
	28	3,0	9,6	5,2	2,0

Таблица 2

Коэффициенты перехода от скорости градиентного ветра к скорости ветра в приводном слое для оз. Иссык-Куль

Градации Δt , °C	2—10	0—2	—2—0
Коэффициент K	0,28	0,23	0,18

о наличии в центре озера области пониженного давления. Линейная же интерполяция давления между береговыми метеостанциями не позволяет получить соответствующей картины. Получение полей направления ветра над акваторией оз. Иссык-Куль является задачей дальнейших исследований. Для расчета испарения с акватории озера на данном этапе достаточно знать распределение скоростей ветра над водной поверхностью.

Определенный интерес представляет рассмотрение данных наблюдений на испарительной установке площадью 20 м² (г. Пржевальск), так как используемые в настоящее время для расчета испарения с водной поверхности эмпирические формулы выведены по данным наблюдений на равнинных территориях и требует проверки для горных условий.

Для анализа были использованы осредненные по декадам данные наблюдений над испарением за период с 1957 по 1975 г. Обобщение материалов позволило установить, что при скоростях ветра больше 1,5 м/с зависимость испарения от дефицита влажности $E=f(\Delta e)$ носит линейный характер, а при скоростях ветра меньше 1,5 м/с линейность нарушается (рис. 2). Влияние разности температуры воды и воздуха (Δt) на испарение не удалось уста-

новить, что связано, вероятно, с конструктивными особенностями бассейна, а также с незначительным интервалом изменения Δt (от 1 до 8 °C). Ограниченный диапазон изменения скорости ветра затрудняет вывод эмпирической формулы. В связи с этим использовалось сопоставление рассчитанных по формулам ГГИ и Браславского—Нургалиева и измеренных значений испарения (рис. 3). Разброс точек оказался невелик и соизмерим с точностью измерения испарения. Анализ рис. 3 позволяет сделать вывод о систематическом завышении значений испарения, рассчитанных по формуле Браславского—Нургалиева, и занижении их по формуле ГГИ.

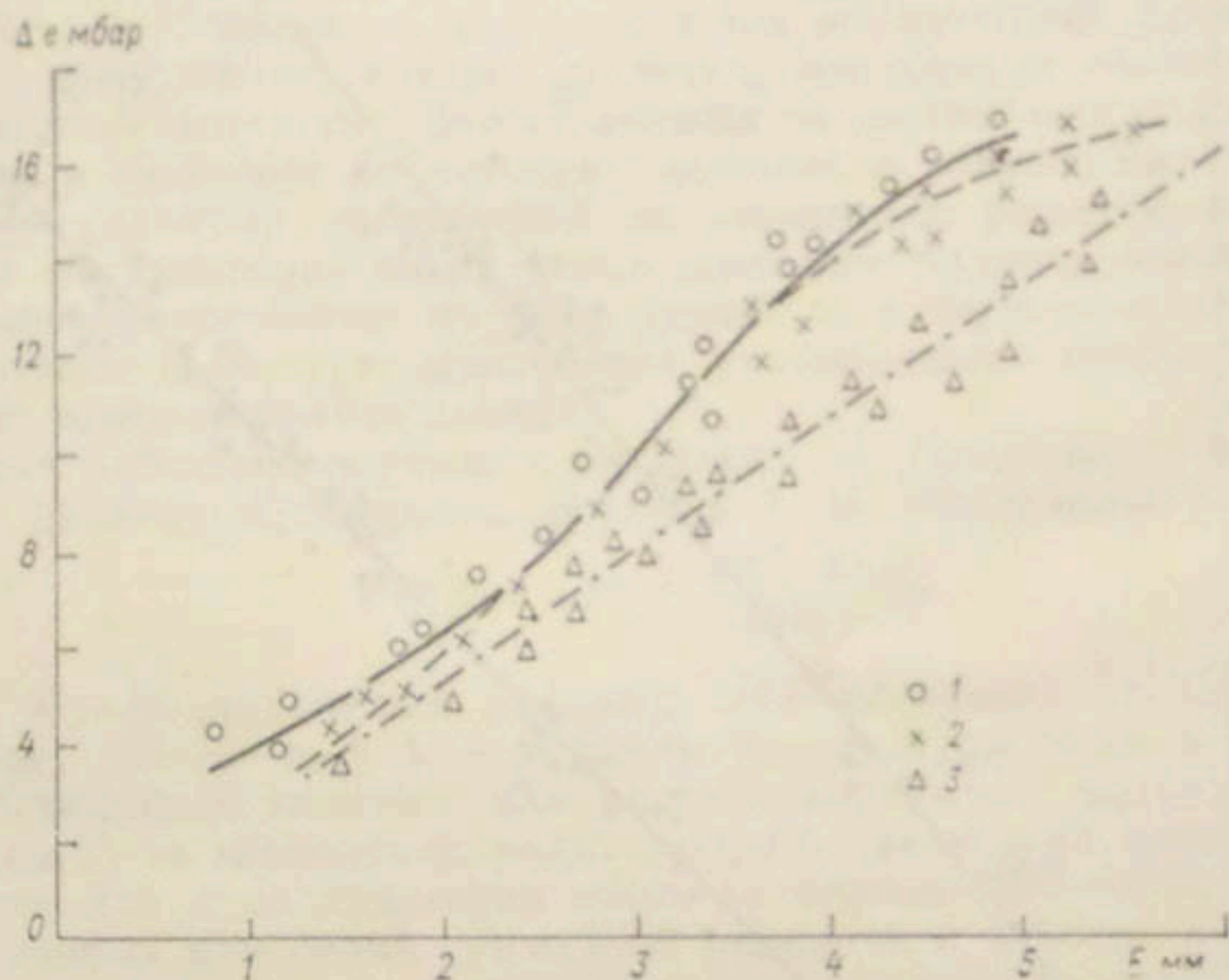


Рис. 2. Зависимость испарения (E) от дефицита влажности (Δe) при различных скоростях ветра.

1 — скорость ветра до 1 м/с, 2 — скорость ветра от 1 до 1,5 м/с, 3 — скорость ветра от 1,6 до 2,5 м/с.

Представленные на рис. 3 зависимости измеренных значений испарения от рассчитанных аппроксимируются следующими выражениями:

а) при расчете по формуле Браславского—Нургалиева

$$E_{20 \text{ м}^2} = 0,17 \Delta e [1 + 0,8 u_{200} + f(\Delta t)] - 0,4; \quad (1)$$

б) при расчете по формуле ГГИ

$$E_{20 \text{ м}^2} = 0,15 \Delta e (1 + 0,72 u_{200}) + 0,4. \quad (2)$$

Совместное решение уравнений (1) и (2) позволило получить региональную формулу для расчета испарения с водной поверхности испарительного бассейна площадью 20 м²

$$E = 0,16 n (e_0 - e_{200}) [1 + 0,76 u_{200} + \varphi(\Delta t)], \quad (3)$$

где E — испарение за расчетный период, мм; n — количество дней в расчетном периоде; e_0 — максимальная упругость водяного пара, определяемая по температуре поверхности воды, ммб; e_{200} — упругость водяного пара на высоте 2 м, ммб; Δt — разность температуры воды и воздуха; u_{200} — скорость ветра на высоте 2 м, м/с; $\varphi(\Delta t)$ — функция, зависящая от Δt и равная $0,56 f(\Delta t)$ в формуле Браславского—Нургалиева.

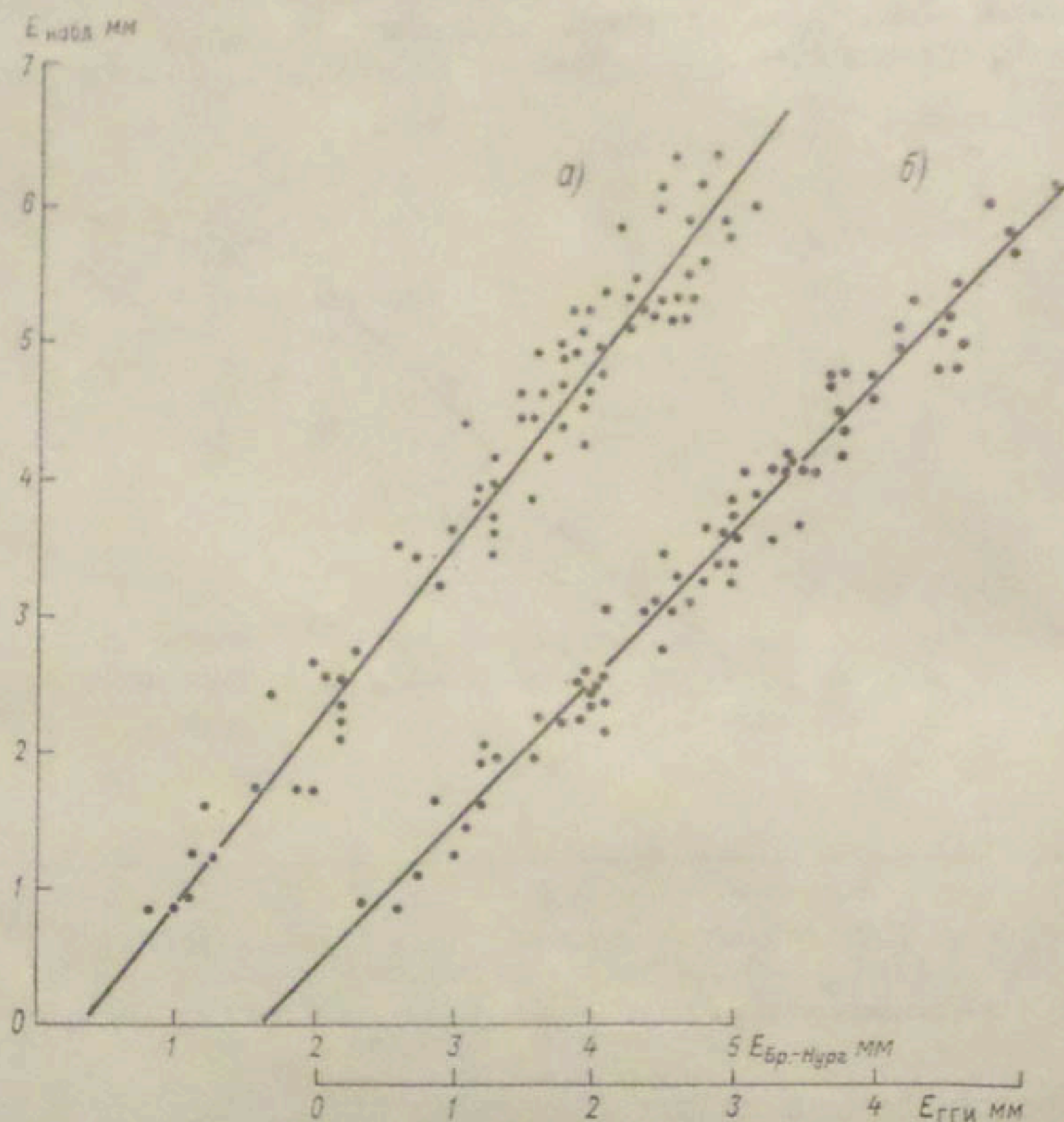


Рис. 3. Сопоставление измеренных и рассчитанных по формулам Браславского—Нургалиева (а) и ГГИ (б) значений испарения E мм.

Наличие данных о метеорологических элементах и температуре поверхности воды (табл. 1) позволило рассчитать испарение с акватории озера, используя эмпирические формулы Браславского—Нургалиева [1], Римши—Донченко [5] и региональную формулу (3).

Средние многолетние годовые значения испарения, рассчитанные по названным формулам, приведены в табл. 3.

Испарение с акватории оз. Иссык-Куль

Формула	Испарение, мм/год
Браславского—Нургалиева	886
Рымши—Донченко	884
Региональная	870

Использованные формулы имеют одинаковую структуру и расчет по ним базируется на одних и тех же исходных данных, поэтому представляет интерес сравнение полученных результатов со значениями испарения, рассчитанными по другим независимым методам, в частности по методам теплового и водного баланса.

При наличии наблюдений за элементами радиационного баланса на акватории озера метод теплового баланса является более предпочтительным по ряду причин и, в первую очередь, из-за отсутствия в формуле компонента, учитывающего скорость ветра, расчет которой крайне сложен.

Для расчета испарения с акватории оз. Иссык-Куль по тепло-вому балансу применялась формула Т. В. Кирилловой [3]

$$E = 25,8 \cdot 10^{-3} \frac{(R - B) \Delta e}{1,55 \Delta e + \Delta t}, \quad (4)$$

где R — радиационный баланс; B — изменение теплозапасов в воде; $\Delta e = e_0 - e_{200}$; Δt — разность температуры воды и воздуха.

Исходными данными для расчета послужили материалы наблюдений за элементами радиационного баланса на метеостанции Чолпон-Ата и на акватории озера за период 1977—1978 гг. Анализ данных измерений суммарной радиации и альбедо на акватории оз. Иссык-Куль позволил сделать следующие выводы:

— суммарные радиации при синхронных наблюдениях на суше и на акватории озера имеют близкие значения;

— альбедо суммарной радиации водной поверхности оз. Иссык-Куль зависит от высоты солнца, как это показано на рис. 4.

Установить зависимость альбедо от облачности, прозрачности воды и волнения по имеющимся материалам не удалось.

Недостаточная надежность данных измерений радиационного баланса, обусловленная трудностями организации наблюдений на акватории озера, привела к необходимости использования расчетной формулы Т. В. Кирилловой и М. П. Тимофеева [4]

$$R_{03} = R_{\text{суш}} + Q (A_{\text{суш}} - A_{03}) + 1,66 T_0^3 (t_{\text{суш}} - t_{03}) + \frac{0,025 \Delta e'}{\sqrt{e_{200}}} \sigma T^4, \quad (5)$$

где R_{03} — радиационный баланс водной поверхности озера; $R_{\text{суш}}$ — радиационный баланс суши по данным метеостанции Чолпон-Ата; Q — суммарная радиация; $A_{\text{суш}}$ — альбедо суши; A_{03} — альбедо озера; T_0 — температура воздуха на береговой станции Чолпон-

Ата; $t_{\text{суш}}$ — температура поверхности почвы; $\Delta e'$ — разность между упругостью насыщения над озером по температуре поверхности воды и упругостью водяного пара на береговой метеостанции; σ — постоянная Стефана—Больцмана; T — абсолютная температура воздуха над озером; $t_{\text{оз}}$ — температура поверхности воды.

Изменение теплозапасов для верхнего 100-метрового слоя воды рассчитывалось по данным наблюдений на термических разрезах.

Испарение, рассчитанное по методу теплового баланса, оказалось равным 880 мм. Испарение, рассчитанное как остаточный член уравнения водного баланса оз. Иссык-Куль, в среднем за год составляет 878 мм.

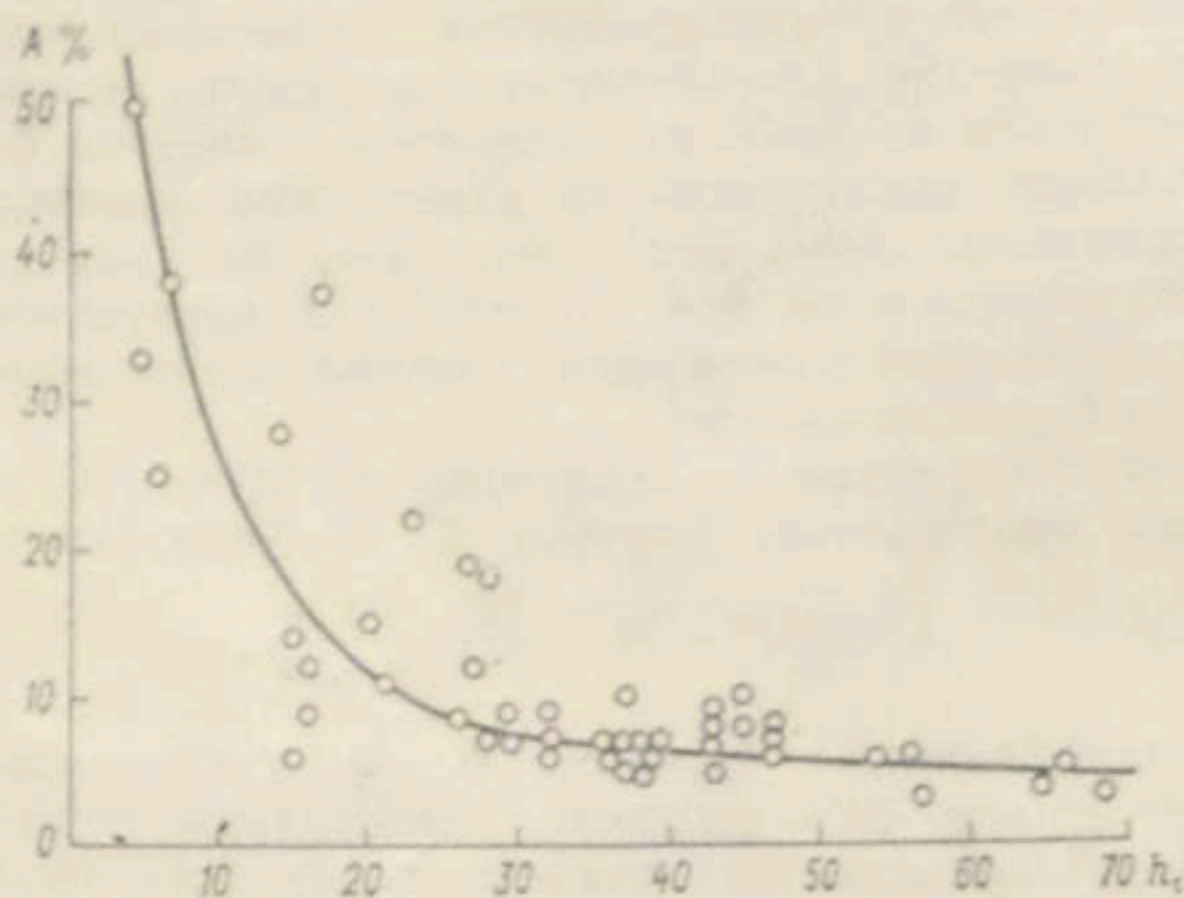


Рис. 4. Зависимость альбедо водной поверхности оз. Иссык-Куль от высоты солнца (по данным наблюдений на гидрологических разрезах и суточных станциях в 1977—1978 гг.).

Сопоставление значений испарения, рассчитанных различными методами, показывает хорошее совпадение: различия не выходят за пределы $\pm 5\%$ в среднем за многолетие. Это указывает на приемлемость любого из рассмотренных методов для расчета испарения с акватории оз. Иссык-Куль.

Дальнейшие исследования будут направлены на непосредственные измерения испарения на плавучей испарительной установке, уточнение характеристик радиационного и теплового балансов акватории озера и усовершенствование методик расчета ветра над озером.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браславский А. П., Нургалиев С. Н. Новая формула для расчета испарения с учетом разности температуры воды и воздуха.— Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства, 1966, вып. 4, с. 195—206.

2. Викулина З. А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза.— Л.: Гидрометеониздат, 1979.— 175 с.
3. Kirillova T. V., Ogneva T. A. and Nesina L. V. Determination of evaporation from Lake and Reservoir Surfaces using the Heat Balance Method.— Intern. Assoc. Hydrol. Sc.: Publication, 1973, No 109, pp. 269—275.
4. Кириллова Т. В., Тимофеев М. П. О расчете радиационного баланса водоемов по радиационному балансу суши.— Метеорология и гидрология, 1959, № 11, с. 35—37.
5. Рымша В. А., Донченко Р. В. Исследование тепловпотерь с открытой водной поверхности в зимнее время.— Труды ГГИ, 1958, вып. 65, с. 54—83.
6. Соркина А. И. Построение карт ветровых полей для морей и океанов.— Труды ГОИИ, 1958, вып. 44.
7. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов.— Л.: Гидрометеониздат, 1969.— 40 с.

К ВОПРОСУ О ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ И РЕКИ ЧУ В ГОЛОЦЕНЕ¹

Существует несколько точек зрения на характер гидрографической связи р. Чу с оз. Иссык-Куль в прошлом. Г. Д. Романовский [8], побывавший на оз. Иссык-Куль в 1878 г., считал, что в эпоху высокого стояния уровня озера р. Чу вытекала из оз. Иссык-Куль, а р. Кочкор (верхнее течение современной р. Чу) была самостоятельным его притоком. Этой же точки зрения придерживались Л. С. Берг [2] и И. В. Мушкетов [7]. Н. Г. Кассин [6] считал, что руч. Кутемалды сначала был истоком Нижней Чу из оз. Иссык-Куль, потом, с появлением нового русла Чу, Кутемалды стал ее притоком, а затем, когда уровень воды озера понизился, по р. Кутемалды осуществлялся сброс излишних паводковых вод р. Чу в озеро Иссык-Куль. Р. Д. Забиров [5] полагал, что еще в первой четверти прошлого века оз. Иссык-Куль было проточным, и положение его уровня регулировалось впадавшей Верхней Чу и вытекавшей из оз. Иссык-Куль р. Нижней Чу. А. Г. Бондарев [4] объясняет падение уровня оз. Иссык-Куль нарушением равновесия между приходной и расходной статьями водного баланса, которое могло возникнуть в результате разобщения р. Чу с озером. Это разобщение данный автор также относит к первой четверти XIX века.

По мнению А. К. Трофимова [10], во время максимума последней балыкчинской трансгрессии, приходящегося на середину прошлого столетия, уровень оз. Иссык-Куль не достигал высоты Кутемалдинского водораздела, проходящего по вершине конуса выноса р. Чу. А так как в это время превышение истоков р. Кутемалды и проток, расположенных севернее ее, составляло около 1,5 м, А. К. Трофимов считает, что при нагонах воды мог существовать эпизодический сток из озера в р. Чу. А. В. Шнитников [11] рассматривает протоки в урочище Кутемалды как русла для сброса излишних паводковых вод р. Чу.

¹ Возраст голоцена около 10 000 лет.

Учитывая разноречивость точек зрения вышеприведенных авторов, в целях выявления характера гидрографической связи р. Чу с оз. Иссык-Куль летом 1978 г. гидрографической партией УГМС Киргизской ССР было проведено обследование урочища Кутемалды. К сожалению, в момент обследования поверхность земли в районе урочища была выравнена для поливного земледелия и большинство протоков к востоку от канала водонасосной станции было уничтожено (рис. 1).

В урочище Кутемалды на склонах горы Бозбармак отмечается несколько террас, свидетельствующих о более высоком стоянии

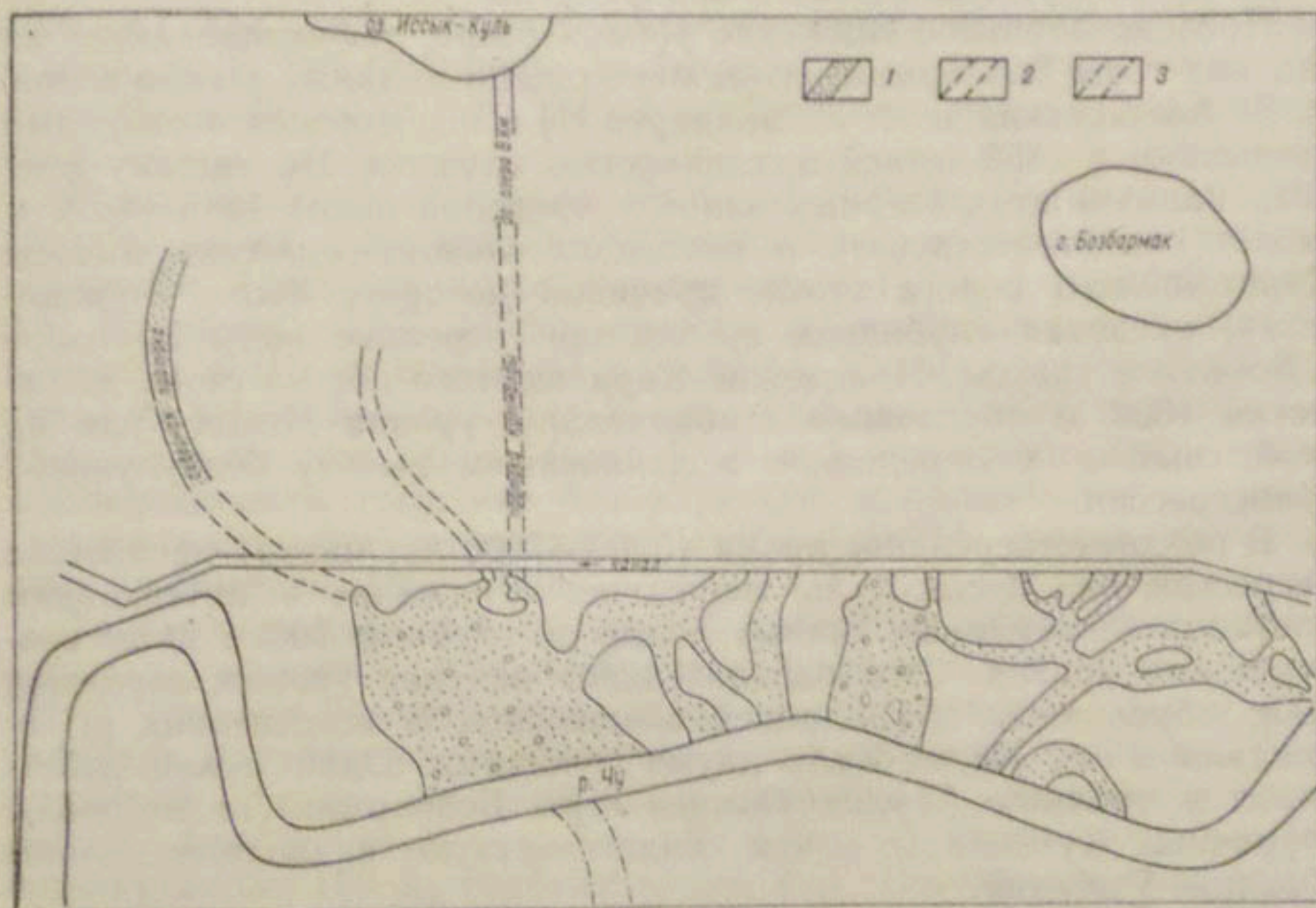


Рис. 1. Схема протоков в урочище Кутемалды.

1 — протоки, 2 — предполагаемые русла протоков, 3 — положение русла р. Чу в 1898 г.

уровня оз. Иссык-Куль. В соответствии со схемой стратификации озерных отложений А. К. Трофимова [10], на горе Бозбармак можно выделить следующие террасы: николаевскую на высоте 1640 м, датируемую верхним плейстоценом с абсолютным возрастом 26 000 лет, и бозбулунскую на высоте 1622—1623 м, образовавшуюся в нижнем голоцене в промежуток времени между началом VII и серединой X вв. н. э.

К периоду стояния уровня озера на отметке 1640 м относятся горизонтально-слоистые суглинки на северо-востоке горы Бозбармак и аналогичные им суглинки урочища Капчигай, расположенного западнее Кутемалдинского водораздела. В районе горы Бозбармак выше кровли озерных суглинков на 10—15 м в узких западинах с малыми площадями водосбора прослеживаются

древние береговые валы. Гребни самых высоких валов находятся на абсолютных отметках 1640 м, превышая современный уровень оз. Иссык-Куль на 33 м. То, что в урочище Капчигай озерные суглинки в ряде мест лежат на отметках, близких к высоте береговых валов на горе Бозбармак, является, по мнению Л. Г. Бондарева [3], веским свидетельством того, что в николаевское время озеро заходило узким заливом далеко на запад, проникая в пределы урочища Капчигай. Положение уровня озера в этот период определялось высотой Караташского порога стока, отделявшего оз. Иссык-Куль от Боомского ущелья и расположенного в 10 км к западу от Кутемалдинского водораздела.

Последовательное снижение уровня озера, зафиксированное на склонах горы Бозбармак пятью береговыми линиями в виде валов, З. В. Алешинская и Л. Г. Бондарев [1] с некоторыми оговорками увязывают с 1850-летней цикличностью климата. По нашему мнению, наличие этих озерных валов в пределах высот 1640—1622 м может свидетельствовать о последовательном снижении высоты Караташского порога стока, причиной которого была, по-видимому, русловая глубинная эрозия при переливе воды из озера в Боомское ущелье. Понижение Караташского порога стока до отметки 1622 м обусловило стабилизацию уровня Иссык-Куля на этой высоте и определило в дальнейшем высоту бозбулунской трансгрессии.

В позднечетвертичное время (5000—7000 лет назад) произошла регрессия оз. Иссык-Куль, нашедшая отражение в интенсивном врезании современных речных долин до глубины 100 м ниже современного уровня. Столь значительное падение уровня, вероятно, было обусловлено деградацией оледенения. В этот период р. Чу впадала в оз. Иссык-Куль двумя рукавами. Один рукав действовал в урочище Акулен (южнее горы Бозбармак), а второй — в урочище Кутемалды, о чем свидетельствуют подводные долины в заливе Рыбачий.

После регрессии озера до абсолютной отметки 1500 м произошло поднятие уровня до высоты 1622—1623 м.

Террасу, образовавшуюся во время стояния озера на этой отметке, А. К. Трофимов [10] именует бозбулунской. В это время, как и в верхнем плейстоцене, сток из озера осуществлялся через Караташский порог стока. В период максимума бозбулунской трансгрессии береговые линии совпали с древними береговыми линиями, образовавшимися во время регрессии озера вследствие снижения высоты Караташского порога стока. В результате двухкратного длительного стояния уровня Иссык-Куля на высоте 1622—1623 м был сформирован первый береговой вал на востоке горы Бозбармак. Мощный береговой вал длиной около 700 м, шириной 60—80 м и высотой 3—4 м блокирует здесь западину с водосборной площадью около 0,5 км².

Согласно А. К. Трофимову [10], в бозбулунскую эпоху р. Чу впадала в оз. Иссык-Куль в районе урочища Кутемалды и сформировала новый Кутемалдинский водораздел, над которым глубина

озера не превышала 1 м. По поверхности бозбулунской террасы, образующей Кутемалдинский водораздел на высотах 1621—1622 м, в настоящее время протекает р. Чу. Сложена терраса в урочище Кутемалды озерно-дельтовыми и озерными суглинками и супесями с прослоями песков мощностью до 7 м, которые залегают на аллювиальных галечниках. Бозбулунская терраса расчленена протоками двух генераций. Многочисленные протоки первой генерации врезаны в поверхность террасы на 2—2,5 м и заканчиваются в 2—2,5 км к востоку от р. Чу вдоль береговой линии на высоте 1619,3 м. Ко второй генерации А. К. Трофимов относит протоку Кутемалды ниже береговой линии на отметке 1619,3, по которой еще в 30-х годах нашего столетия осуществлялся сток воды в озеро из р. Чу. Современную террасу, расположенную ниже береговой линии на высоте 1619,3 м, Трофимов именует балыкчинской.

У юго-западной окраины г. Рыбачье протока Кутемалды в настоящее время сохранила первозданный вид и хорошо выражена в рельефе. Здесь она имеет ширину около 150 м и глубину около 2 м. На высоте 1607—1608 м протока заблокирована речными наносами и почти не выражена в рельефе. Ниже уреза протока Кутемалды имеет продолжение в виде каньона. Такая картина наблюдается на всех реках Иссык-Кульской котловины. Это служит подтверждением того, что бозбулунскую и балыкчинскую трансгрессии разделяла регрессия со стабилизацией уровня на абсолютных отметках 1607—1608 м.

Таким образом, протоки первой генерации могли быть сформированы в период после бозбулунской регрессии оз. Иссык-Куль. В это время р. Чу, вероятно, вслед за отступающим озером разработала протоки, расположенные в южной части урочища. Впоследствии протоки объединились в одно русло, известное в дальнейшем как русло Кутемалды. В 3 км от озера русло имеет ширину около 150 м, глубину около 2 м. Несомненно, что такое русло могло вместить расходы воды р. Чу полностью. О том, что скорости течения в русле Кутемалды когда-то были значительными, свидетельствуют речные отложения, включающие хорошо окатанную гальку диаметром до 15 см.

В период балыкчинской трансгрессии (XVII—середина XIX вв. н. э.) протоки р. Чу стали заполняться речными наносами. Этот процесс связан с повышением базиса эрозии и уменьшением скоростей течения. Речные отложения проток в озерных суглинках и супесях хорошо прослеживаются в канале водонасосной станции. Мощность этих отложений, вероятно, превышает 2-метровую глубину канала, о чем свидетельствуют шурфы, первый из которых был заложен в северной протоке в 300 м к востоку от канала, а второй — в южной, в 150 м к востоку от канала. Во время обследования представилась возможность проследить русла проток на участке, выровненном под поливное земледелие, по траншее, пересекающей урочище Кутемалды в юго-восточном направлении. Русла проток прослеживаются в траншее по галечно-гравий-

ным отложениям с линзами песка, вкрапленными в суглинки. Мощность этих отложений в пределах глубины траншеи составляет 1,5 м. Утверждение А. В. Шнитникова [11] о том, что глубина речных песчаных отложений в протоках составляет 1—2 см, а «каменного материала» нет совсем, проведенными исследованиями не подтверждается.

Обращает на себя внимание тот факт, что если в руслах протоков на глубинах ниже 20 см отложены гравий и галька с линзами песка, то в верхнем 20-сантиметровом слое отложены пески, постепенно уменьшающиеся до пылеватой фракции, слагающей современные русла протоков. Это свидетельствует о постепенной деградации протоков, которую мы связываем с подъемом уровня оз. Иссык-Куль во время балыкчинской трансгрессии.

В период максимума балыкчинской трансгрессии на абсолютной высоте 1619,3 м были подновлены абразионные уступы и береговые валы, образованные во время верхнеплейстоценовой регрессии и бозбулунской трансгрессии. Так как максимум балыкчинской трансгрессии был меньше максимума бозбулунской трансгрессии и верхнеплейстоценовой регрессии на 1,5—2 м, береговые линии их почти совпали. В периоды троекратного стояния оз. Иссык-Куль на отметках 1619—1622 м были образованы мощные абразионные уступы и валы, имеющие распространение вокруг всего озера. В условиях выположенного рельефа на востоке г. Бозбармак во время максимума балыкчинской трансгрессии был образован второй озерный вал, не совпадающий с валом, образовавшимся в периоды двух предшествующих стабилизаций уровня на высоте 1622—1623 м. В первой половине прошлого столетия во время стояния уровня оз. Иссык-Куль на отметке 1619,3 м русла протоки были заполнены речными наносами и выположены. Судя по речным отложениям в подводящем канале водонасосной станции, р. Чу здесь делилась на 3 рукава. Рукав Кутемалды, расположенный южнее частично сохранившихся протоков, к моменту наших работ в месте своего истока был полностью засыпан, но речные отложения в нем прослеживаются в траншее, пересекающей урочище в юго-западном направлении.

Характерно, что размер фракций речных отложений увеличивается от северной протоки к южной. Если в северной протоке на глубинах выше 20 см отложен гравий диаметром 1—3 см, то в средней протоке его диаметр равен 2—5 см, а в южной (Кутемалды) — 3—7 см.

Расходы северной протоки, рассчитанные по формуле Шези, равны 3 м³/с, а в южной — около 25 м³/с. Судя по речным отложениям, расход Кутемалдинской протоки превосходил 25 м³/с. Хотя средний многолетний расход р. Чу по данным водпоста Кутемалды, работавшего до постройки Ортотокойского водохранилища с 1910 по 1962 г., составляет 26,7 м³/с, вряд ли все три протоки в период половодья могли вместить максимальные расходы р. Чу, колеблющиеся от 40 до 134 м³/с. Поэтому можно предположить,

что в это время р. Чу выработала рукав, уходящий в Боомское ущелье и работавший только в периоды половодий.

В середине прошлого столетия Кутемалдинский рукав вследствие заполнения русла наносами образовал меандру, перехватил воды северных протоков и направил воды р. Чу по руслу, уходящему в Боомское ущелье¹, но не совпадающему с современным.

В связи с разобшением р. Чу с озером после 50-х годов XIX в. началось катастрофическое падение уровня оз. Иссык-Куль, отмечаемое многими авторами. Доказательством этого являются данные А. К. Трофимова [10], который, анализируя схему нивелировки урочища, показал что в 1898 г. не было современной последней меандры перед поворотом р. Чу в Боомское ущелье. Следы русла, по которому в это время протекала р. Чу, видны сейчас на левом берегу реки на небольшом нераспаханном участке (рис. 1). В этот период во время половодий через протоку Кутемалды осуществлялся сброс значительных объемов воды в озеро. В дальнейшем, по мере того как р. Чу стала вырабатывать современную последнюю меандру и углублять русло, перелив воды в протоку Кутемалды стал уменьшаться. В 30-х годах нашего столетия вследствие понижения базиса эрозии произошло резкое углубление русла р. Чу и перелив воды из нее в протоку Кутемалды полностью прекратился.

В настоящее время в 2,5 км от озера в протоке Кутемалды выклиниваются грунтовые воды. В отдельных местах слой воды в протоке достигает 75 см, ниже под 35-сантиметровой толщей ила прощупываются отложения крупного галечного материала. На отметке 1607—1608 м протока Кутемалды почти не выражена в рельефе и представляет собой ручей с расходами воды около 10 л/с.

В заключение остановимся на работе А. В. Шнитникова [11], в которой изложена точка зрения этого автора на кутемалдинские протоки, как на русла для сброса излишних паводочных вод р. Чу. То, что это было именно так, начиная со второй половины прошлого столетия, подтверждается данными многих исследователей [5] и не вызывает сомнения. Однако до второй половины XIX в. связь р. Чу с оз. Иссык-Куль имела другой характер, о чем свидетельствуют речные отложения в протоках, мощность которых превышает 2 м.

А. В. Шнитников отмечает наличие в урочище Кутемалды остатков старинных арыков и цементированных водозаборников с металлическими затворками более поздней эпохи. На основании этого он считает, что все эти сооружения служили «для забора вод из Кутемалды во время наиболее высоких паводков на р. Чу, а именно в весеннее время или в самом начале лета (таяние высокогорных снегов), когда вода нужна для орошения». По нашему

¹ То, что момент почти полного разобшения р. Чу с озером приходится на середину XIX в., подтверждается историческими свидетельствами и расчетными данными [9].

мнению, наличие арычной системы в урочище не может быть аргументом в пользу точки зрения А. В. Шнитникова о том, что протоки служили лишь для сброса излишних паводочных вод р. Чу в оз. Иссык-Куль.

Превышение уровня оз. Иссык-Куль над уровнем р. Чу в работах А. К. Трофимова [10] и Р. Д. Забирова [5] подтверждается нашими измерениями (с учетом падения уровня озера между нивелировками). У А. В. Шнитникова оно ниже на 2 м.

Таким образом, результаты наших исследований свидетельствуют о том, что еще в первой половине прошлого столетия р. Чу по многочисленным протокам впадала в оз. Иссык-Куль. Причиной разобщения р. Чу с оз. Иссык-Куль могла послужить трансгрессия уровня озера, при которой протоки стали заполняться речными наносами. Во время максимума трансгрессии на высоте 1619,3 м в середине прошлого столетия р. Чу выработала новое русло, уходящее в Боомское ущелье, что явилось одной из причин катастрофического падения уровня оз. Иссык-Куль. Во второй половине XIX в. связь р. Чу с озером осуществлялась только через протоку Кутемалды, по которой сбрасывались избыточные паводочные воды. По мере того как р. Чу углубляла свое русло, уменьшался перелив в протоку Кутемалды. В 30-х годах нашего столетия перелив паводочных вод из р. Чу в протоку Кутемалды полностью прекратился.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешинская З. В., Бондарев Л. Г. Колебания уровня озера Иссык-Куль в позднем плейстоцене.— Вопросы географии, 1970, № 79, с. 133—146.
2. Берг Л. С. Озеро Иссык-Куль. Избр. труды, т. 3.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— 261 с.
3. Бондарев Л. Г. Древние береговые линии на западе Иссык-Кульской котловины.— Известия ВГО, 1968, т. 100, вып. 2, с. 137—139.
4. Бондарев Л. Г. Динамика уровня оз. Иссык-Куль за последние 100 лет.— В кн.: Структура и динамика компонентов природы Тянь-Шаня. Фрунзе, Илим, 1973, с. 52—61.
5. Забиров Р. Д. Колебания уровня озера с первой четверти XIX в. до наших дней.— В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, Илим, 1978, с. 102—112.
6. Кассин Н. Г. Гидрологические исследования, произведенные в бассейне озера Иссык-Куль в 1914 г.— Петроград: 1915.— 250 с.
7. Мушкетов И. В. Туркестан. Геологическое и орографическое описание по данным, собранным во время путешествий с 1874 по 1880 г., т. 2.— СПб., 1906.— 198 с.
8. Романовский Г. Д. Геологическая экспедиция горного инженера Г. Д. Романовского.— Известия Русского геогр. об-ва, т. XV, 1879.— 108 с.
9. Романовский В. В. Ход уровня озера Иссык-Куль до 2000 г. и влияние на него водохозяйственной деятельности.— В кн.: Прибрежная зона озера Иссык-Куль.— Фрунзе: Илим, 1979, с. 18—28.
10. Трофимов А. К. История озера Иссык-Куль в голоцене.— Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода, № 48, М., 1978, с. 79—85.
11. Шнитников А. В. Водные ресурсы озера Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 5—19.

М. И. Кривошей

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ ПАДЕНИЯ УРОВНЯ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ В 1883—1974 гг.

Анализу причин понижения уровня оз. Иссык-Куль в текущем столетии посвящены многочисленные работы, исходя из которых можно выделить три основные группы факторов, с которыми связывают это понижение: 1) климатические, определяющие падение уровня как результат понижения увлажненности и повышения температуры воды [3, 7, 8], 2) антропогенные, обуславливающие падение уровня развитием хозяйственной деятельности в бассейне озера, в частности безвозвратными потерями воды, забираемой на орошение [4], и 3) факторы, связанные с прекращением гидрографической связи р. Чу с озером [3, 6].

Во главе сторонников гипотезы о климатических причинах падения уровня озера стоит известный ученый-озеровед А. В. Шнитников, по мнению которого причиной падения уровня является пониженная увлажненность (уменьшение осадков и стока рек) и повышенное испарение с акватории озера, обусловленное повышением температуры воздуха. А. В. Шнитников считает, что развитие орошения в Иссык-Кульской котловине не может оказывать существенного влияния на снижение уровня, так как вся вода, забираемая на орошение, должна возвращаться в озеро подземным путем и выпадать в виде осадков в горах. При этом предполагается, что котловина озера является замкнутой и вынос водяного пара за ее пределы отсутствует [8].

Для оценки справедливости этой точки зрения рассмотрим изменение климатических характеристик в Иссык-Кульской котловине на примере колебаний температуры воздуха и осадков по метеостанции Пржевальск с самым длинным рядом наблюдений за метеорологическими элементами (с 1883 г.). После восстановления пропусков в наблюдениях были рассчитаны сглаженные по скользящим десятилеткам кривые изменения среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков (рис. 1). На рис. 1 видно, что температура воздуха в целом за период 1883—1974 гг. имеет слабую тенденцию к снижению, а не к повышению, а осадки

остаются практически постоянными, слабо изменяясь около среднего значения. Как и следовало ожидать, температура воздуха колеблется в противофазе с осадками. В процессе анализа взаимосвязи между температурой и осадками выявлено 11 различных видов этой зависимости, которые можно, предположительно, объяснить наличием 11 типов синоптических процессов, характерных для Иссык-Кульской котловины.

Таким образом, анализ рис. 1 не показывает каких-либо значительных тенденций в изменении увлажненности и термического режима в бассейне оз. Иссык-Куль. В период 1900—1974 гг. не на-

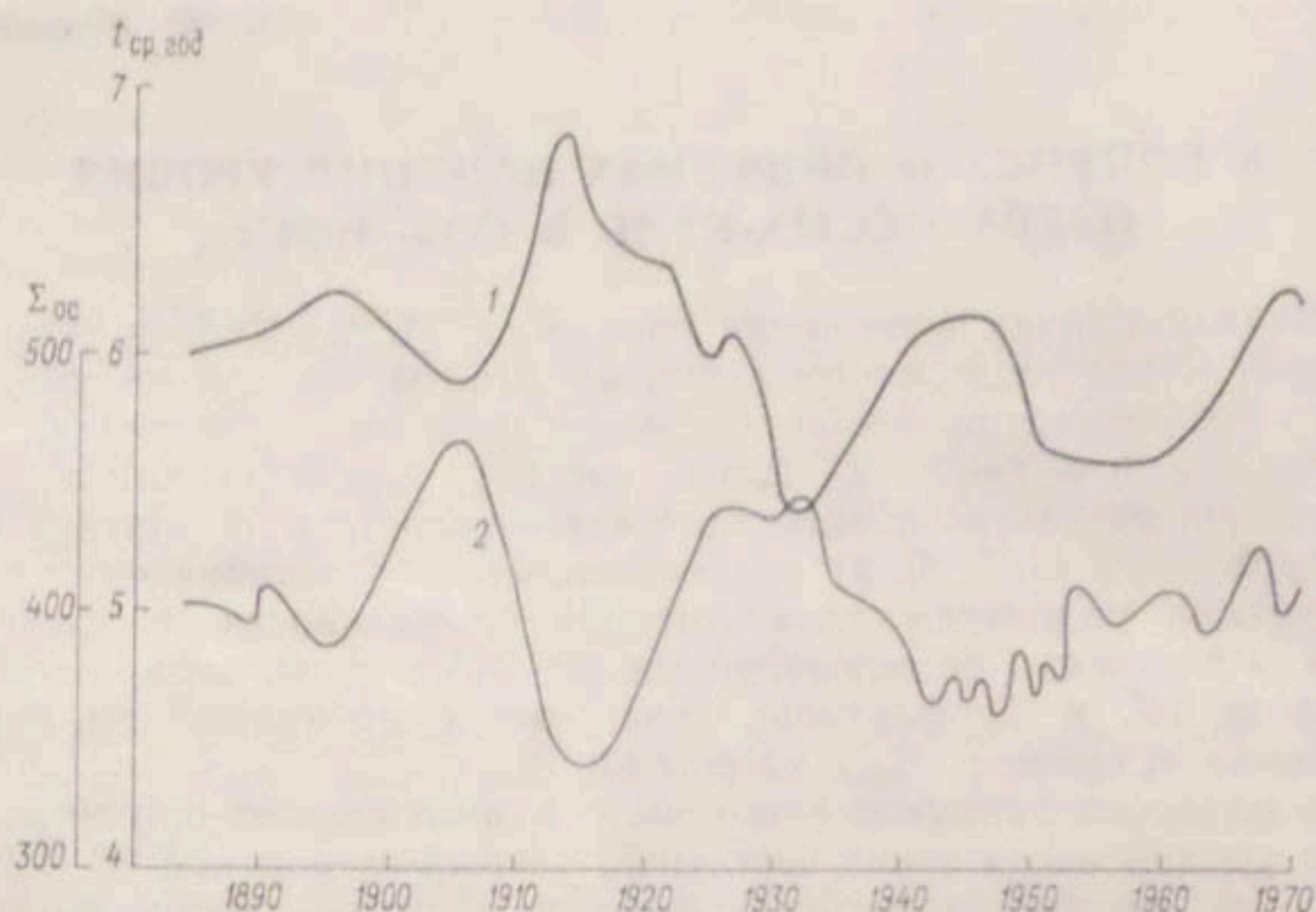


Рис. 1. Хронологический график хода среднегодовой температуры воздуха (1) и годовых сумм осадков (2) на метеостанции Пржевальск (скользящее осреднение по 10-леткам).

блюдалось и уменьшения стока рек, о чем свидетельствуют данные статьи [5]. В связи с анализом колебаний стока следует заметить, что в некоторые периоды уменьшения осадков и повышения температуры воздуха отмечается не уменьшение, а увеличение стока рек вследствие интенсивного таяния ледников. Об этом свидетельствует наличие положительной корреляции, с одной стороны, между суммой положительных температур и абляцией ледника Карабаткак [2] и, с другой стороны, между температурой воздуха в летние месяцы и притоком воды в озеро.

Исходя из вышеизложенного, очевидно, что падение уровня оз. Иссык-Куль в 1883—1974 гг. не может быть обусловлено только климатическими факторами. Однако было бы неправильным полностью отрицать влияние климата на процесс падения уровня в текущем столетии. В отдельные периоды, как это будет показано

ниже, климат оказывал основное влияние на снижение уровня озера.

Нельзя также согласиться с утверждением об отсутствии выноса влаги за пределы котловины. Иссык-Кульская котловина не является полностью замкнутой, так как с запада через пониженные части хребтов Киргизского и Кунгей-Алатау и с востока через перевал Санташ осуществляется адвекция воздушных масс и вынос пара за пределы котловины. Об этом свидетельствуют данные шаропилотных наблюдений на метеостанциях Рыбачье и Пржевальск, согласно которым на высоте около 3000 м преобладает западный перенос (независимо от направления ветра в приземном слое), с которым осуществляется вынос пара (табл. 1). Косвенным подтверждением наличия выноса влаги являются данные табл. 2, в которой приведены сведения о выпадении осадков на метеостанции Тянь-Шань, находящейся за пределами Иссык-Кульской котловины. При северо-западных ветрах в районе метеостанции Тянь-Шань осуществляется адвекция воздушных масс из Иссык-Кульской котловины. Если бы отсутствовал транзит влаги, то на метеостанции Тянь-Шань в течение всего периода с северо-западным переносом выпадали бы осадки. Однако, как это видно из данных табл. 2, продолжительность выпадения осадков значительно меньше суток, в течение которых зафиксирована адвекция воздушных масс со стороны Иссык-Кульской котловины.

Предположим далее, что вся влага, испаряющаяся с орошаемых полей, остается внутри котловины. В этом случае забор воды на орошение не следует включать в расходную часть водного баланса озера. Проанализируем, используя данные табл. 1 в [1], как в этом случае изменился бы уровень озера.

Изменение уровня озера, рассчитанное по водному балансу, составленному Шнитниковым, составило бы 3 см/год, т. е. за период с 1883 по 1974 г. уровень повысился бы на 276 см, а с 1946 по 1974 г. — на 87 см. По водному балансу, рассчитанному М. И. Каплинским, в течение 1946—1965 гг. уровень повысился бы на 126 см. Согласно расчетам водного баланса озера, произведенным в ГГИ, за период 1946—1974 гг. уровень повысился бы на 99 см. В связи с этим следует отметить, что в этот же период (1946—1974 гг.) наблюдалось интенсивное повышение уровня озер Балхаш и Алаколь. Трудно предположить что климатические условия на этих озерах, расположенных в сходных физико-географических условиях с оз. Иссык-Куль, значительно отличаются от таковых в бассейне оз. Иссык-Куль.

Таким образом, в 1946—1974 гг. понижение уровня озера обусловлено не климатическими факторами, а забором воды на орошение, при отсутствии которого происходило бы повышение уровня. Поскольку этого не наблюдалось, становится очевидным наличие выноса влаги за пределы котловины.

По среднемноголетнему водному балансу, рассчитанному в ГГИ, слой воды за счет падения уровня озера в 1946—1974 гг. практически равен слою суммарного видимого испарения с орошаемых

Таблица 1

Направление ветра на различных высотах (по данным шаропилотных наблюдений), 1956 г.

Дата	Время, ч	Пункт	Высота над поверхностью земли, км					
			0,01	0,10	0,20	0,34	0,50	1,34
22/IV	19	Рыбачье	090	074	338	269	270	239
22/IV	19	Пржевальск	—	129	079	329	055	237
2/V	7	Рыбачье	090	078	076	080	077	325
2/V	7	Пржевальск	045	057	048	244	352	240
4/VI	7	Рыбачье	—	094	052	051	051	273
4/VI	7	Пржевальск	045	055	070	051	080	220
12/VII	19	Рыбачье	090	100	099	276	178	332
12/VII	7	Пржевальск	—	307	314	041	335	074
5/VIII	7	Рыбачье	—	076	122	133	156	097
5/VIII	7	Пржевальск	—	146	224	221	249	194
17/IX	7	Рыбачье	090	077	072	087	069	130
17/IX	7	Пржевальск	—	203	228	268	224	248

Дата	Время, ч	Пункт	Высота над поверхностью земли, км					
			2,34	3,34	4,34	5,34	6,34	7,34
22/IV	19	Рыбачье	257	288	261			
22/IV	19	Пржевальск	255	265	251			
2/V	7	Рыбачье	254	274	294	295	295	
2/V	7	Пржевальск	247	290	295	304	292	
4/VI	7	Рыбачье	255	270	283	282	276	279
4/VI	7	Пржевальск	259	276	256	249	271	297
12/VII	19	Рыбачье	315	257	239	240	265	266
12/VII	7	Пржевальск	359	270	254	277	283	293
5/VIII	7	Рыбачье	237	282	255	258	268	265
5/VIII	7	Пржевальск	—	326	283	283	267	272
17/IX	7	Рыбачье	232	240	255	249	270	274
17/IX	7	Пржевальск	237	258	263	284	310	312

Таблица 2

Продолжительность выпадения осадков на метеостанции Тянь-Шань при северо-западном переносе

Дата	Явление	Начало, ч	Конец, ч	Продолжительность, мин
3/VI-56	Снег	14 1/4	14 1/2	15
	"	14 1/2	15 3/4	15
	"	16 1/4	18 1/4	120
	"	18 1/4	18 3/4	30
			Итого	180
9/VII-56	Ливневой дождь	15 3/4	16 1/4	30
	" "	18 1/4	18 1/2	15
			Итого	45

полей (см/год). Действительно, в естественных условиях, при отсутствии водозабора на орошение, уровень озера в этот период повысился бы на 99 см, а фактически он понизился на 124 см. Таким образом, общее снижение уровня за 29 лет составило 223 см, т. е. 7,7 см/год, а видимое испарение за этот период равно 7,2 см/год. Такая оценка выноса влаги является, по-видимому, правомерной, так как частичное возвращение влаги, испарившейся с орошаемых полей, в бассейн озера учитывается при расчетах притока из зоны формирования стока и водного баланса зоны рассеивания стока. Подтверждением связи значений падения уровня с видимым испарением с орошаемых полей являются также данные по восстановленному водному балансу озера за период 1883—1945 гг. (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение рассчитанных и наблюдаемых приращений уровня воды оз. Иссык-Куль

Годы	Составляющие водного баланса (средние за расчетный период), м ³ /с			Приращение уровня за расчетный период, см		Условный вынос вла- ги, см/год	Безвозвратные поте- ри воды на орошение (видимое испарение), см/год
	приток из зоны форми- рования	осадки	испарение	рассчи- танное	наблюдае- мое (восстанов- ленное по дан- ным по темпе- ратурным данным)		
1883—1890	109	65	188	—53	—85	—4,0	
1890—1900	116	58	170	21	—30	—4,6	
1900—1910	117	70	154	174	108	—6,0	—4,2
1910—1926	115	61	196	—164	—292	—7,5	—6,3
1926—1930	118	70	178	2	—20	—4,4	—6,1
1930—1940	112	66	167	60	—55	—10,4	—7,0
1940—1950	113	59	172	0	—83	—7,5	—8,4
1950—1955	120	64	169	45	—15	—10,0	—6,9
1955—1960	125	66	174	52	34	—3,0	—6,1
1960—1974	124	59	179	30	—92	—8,1	—7,8
Сумма				167	—530		
Среднее	117	64	175			—7,1	—6,6

Примечания. 1. Коэффициент перехода от объемных значений (м³/с) к слою (см) равен 2. 2. Среднее значение условного выноса влаги (графа 7) рассчитано с 1900 г.

Восстановление элементов водного баланса озера производилось по их взаимосвязи с метеорологическими элементами по метеостанции Пржевальск. Суммарный приток в озеро из зоны формирования стока наилучшим образом коррелировался со среднемесячной температурой воздуха в июле, августе или сентябре, что свидетельствует о преобладании ледникового питания рек. Испарение и осадки удовлетворительно коррелировались с суммой положительных температур и осадками. Ввиду того что расчеты испарения по годам в ГГИ еще не закончены, при

восстановлении значений испарения использовались неопубликованные данные об испарении в водном балансе, составленном в Киргизском республиканском УГКС С. А. Преснецовой. Построение зависимостей элементов водного баланса от определяющих факторов производилось для 11 типов зависимостей между среднегодовой температурой воздуха и годовыми суммами осадков на метеостанции Пржевальск.

В табл. 3 приведены восстановленные (1883—1945 гг.) и рассчитанные (1946—1974 гг.) составляющие водного баланса и приращения уровня озера, которые сравнивались с наблюдаемыми (1926—1974 гг.) и восстановленными по литературным данным

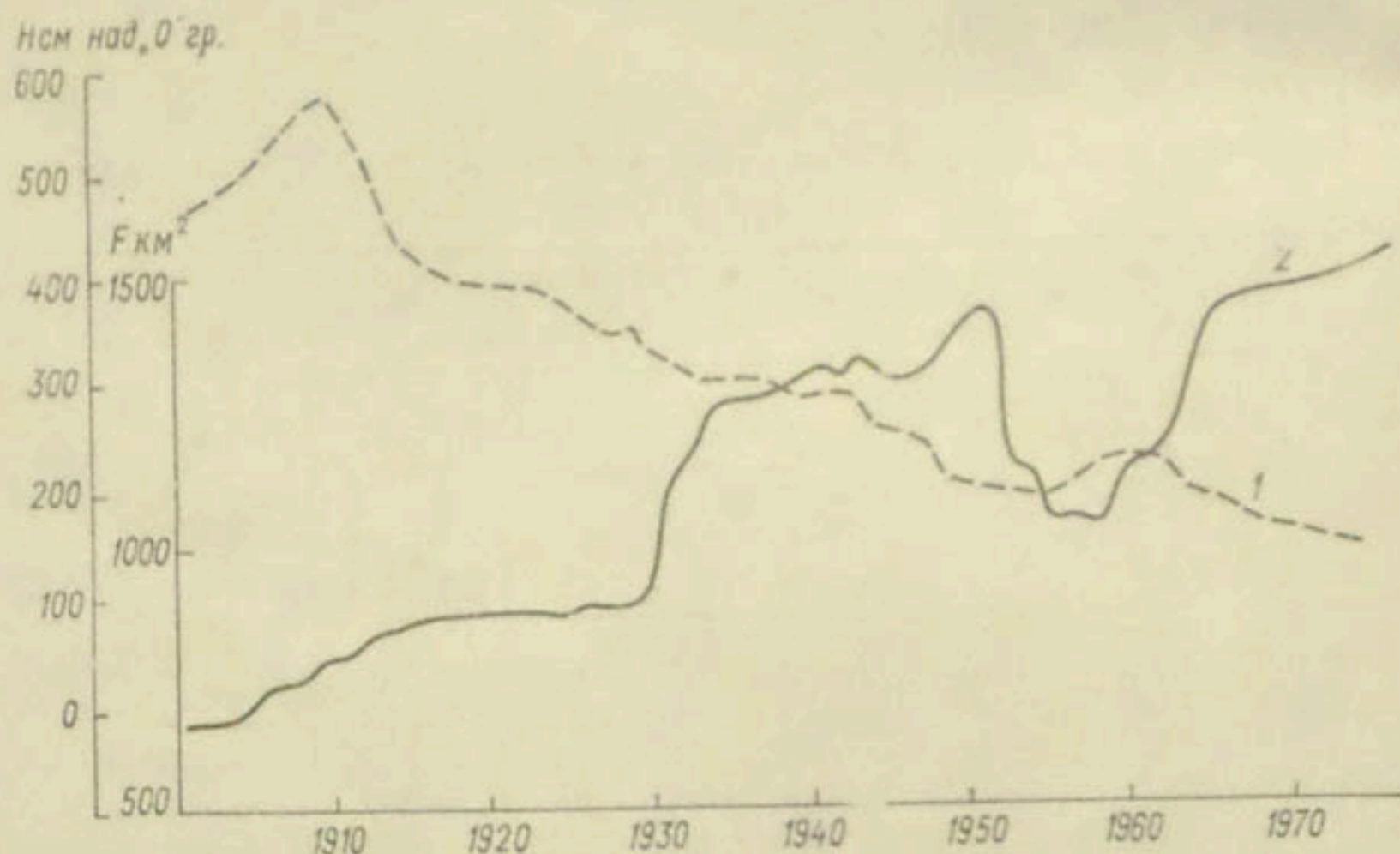


Рис. 2. График изменения уровня озера (1) и площадей орошения F (2).

(1883—1925 гг.). В графе 7 табл. 3 приведены разности между наблюдаемыми (восстановленными) и рассчитанными приращениями уровня, приравняемые условно значению выноса влаги за пределы котловины, а в графе 8 — видимое испарение с орошаемых полей. Площади орошения и видимое испарение с этих площадей за период 1900—1945 гг. восстановлены Т. П. Гронской по данным Управления оросительных систем Иссык-Кульского района и по связи норм поливов с осадками в зоне рассеивания стока. На рис. 2 показано изменение уровня озера и площадей орошения. Коэффициент корреляции между приращениями уровня и изменениями площадей орошения равен 0,67. Как видно на рис. 2, падение уровня озера происходит в противофазе с изменением площадей орошения.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что в период 1900—1974 гг. наблюдается удовлетворительное соответствие между разностями наблюдаемых и рассчитанных приращений уровня и види-

мым испарением с орошаемых полей. Среднегодовое значение этих разностей и видимого испарения практически равны.¹

За период 1883—1899 гг. отсутствуют сведения о развитии орошения в Иссык-Кульской котловине, поэтому пока не представляется возможным дать достаточно обоснованное объяснение превышению восстановленных значений падения уровня над рассчитанными. Не исключена возможность, что в этот период на падение уровня оказывал влияние дефицит притока воды со стороны р. Чу в результате ее разобщения с озером [6].

Данные табл. 3 позволяют также оценить влияние климатических факторов на процесс падения уровня. Так, в 1883—1890 гг. и в 1910—1926 гг. снижение уровня обусловлено преимущественно превышением расходной части водного баланса над приходной. В периоды 1926—1930 и 1940—1950 гг. наблюдалось равновесие между испарением и суммарным притоком воды в озеро. В 1900—1910 гг. происходил интенсивный подъем уровня, обусловленный повышенной увлажненностью и пониженным испарением. В остальные периоды наблюдалось превышение приходной части водного баланса над расходной. В целом, с 1883 по 1974 г. при отсутствии забора воды на орошение и дефицита притока, обусловленного, по-видимому, разобщением с озером р. Чу, уровень оз. Иссык-Куль повысился бы на 167 см.

Исходя из вышеизложенного, становится очевидным, что процесс падения уровня оз. Иссык-Куль является следствием сложного, еще до конца не познанного взаимодействия различных факторов — климатических, антропогенных (их влияние преобладает) и, возможно, гидрографических (потеря связи озера с р. Чу).

В ГГИ будут продолжены исследования по уточнению составляющих водного баланса озера и усовершенствованию методики их

¹ Анализ разности между условным выносом влаги (графа 7) и видимым испарением с орошаемых полей (графа 8) позволяет обнаружить интересную закономерность — чередование значений и знаков этой разности, что обусловлено, по-видимому, наложением на падение уровня неизвестного нам периодического процесса. Так, например, в 1950—1955 гг. условный вынос влаги больше видимого испарения на 3,1 см/год ($6,2 \text{ м}^3/\text{с}$), а в 1955—1960 гг. — меньше на это же значение. Разбивка периода 1950—1960 гг. по пятилеткам обусловлена тем, что имеются основания предполагать в 1957—1958 гг. приток в озеро термальных вод глубинной циркуляции. Об этом свидетельствуют данные измерений температуры воды на речных и озерных водпостах. В 1958 г. среднегодовая температура воды на водпосту Сухой хребет скачкообразно повысилась на 2°C и удерживалась на этом уровне до конца рассматриваемого периода (1974 г.). Аналогичное скачкообразное повышение температуры воды наблюдалось в реках Тюп, Тамга и др. Исходя из чередования знаков разности между условным выносом влаги и видимым испарением, можно предположить чередование периодов притока и оттока воды за пределы котловины. В среднегодовом масштабе эти процессы практически уравнивают друг друга, но на водный баланс озера за отдельные годы могут, по-видимому, оказывать существенное влияние. Подземный приток (отток), равный в период 1950—1960 гг. $6 \text{ м}^3/\text{с}$, совпадает с суммарным дебитом подводных источников [9].

Разумеется, гипотеза о наличии притока (оттока) в озеро подземных вод глубинной циркуляции требует более строгого обоснования и дальнейшего изучения.

восстановления в годы отсутствия наблюдений. Вполне вероятно, что в водный баланс озера за исследуемый период будут внесены коррективы. Однако несомненным является то, что падение уровня озера в 1946—1974 гг. обусловлено забором воды на орошение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гронская Т. П. Обзор исследований водного баланса оз. Иссык-Куль.— См. настоящий сборник.
2. Диких А. Н., Михайлова В. И. Режим ледников и водный баланс северного склона хребта Терской-Алатау.— М.: Наука, 1976.— 131 с.
3. Озеро Иссык-Куль (Очерки по физической географии).— Фрунзе: Илим, 1978.— 210 с.
4. Раткович Д. Я. Водный баланс и режим уровня оз. Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 20—33.
5. Рождественская В. Г. Восстановление рядов стока рек Иссык-Кульской котловины.— См. настоящий сборник.
6. Романовский В. В. К вопросу о гидрографической связи оз. Иссык-Куль и р. Чу в голоцене.— См. настоящий сборник.
7. Хейфец М. Н. Анализ колебаний уровня озера Иссык-Куль в XX веке.— Материалы по физической географии Иссык-Кульской котловины, 1964, вып. VII, с. 15—27.
8. Шнитников А. В. Водные ресурсы оз. Иссык-Куль.— Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 5—19.
9. Ярных Б. Л. Аномалии в распределении температуры воды в озере Иссык-Куль.— См. настоящий сборник.

Б. Л. Ярних

АНОМАЛИИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ОЗЕРЕ ИССЫК-КУЛЬ¹

Анализ распределения температуры воды в оз. Иссык-Куль позволил обнаружить, что на глубинах, превышающих 40 м, обычная картина распределения температуры от поверхности ко дну нарушается: в отдельных местах наблюдается резкое углубление слоя скачка или даже отсутствие его в пределах 100-метровых глубин, а в некоторых случаях распределение температуры становится аномальным, наблюдается резкий рост температуры на глубинах 50—100 м.

Неожиданные результаты дает также сравнение кривых распределения температуры на одной и той же вертикали в разные месяцы года: во многих случаях температура на глубинах 50—100 м весной значительно (на 3—5°C) выше, чем летом. Это свидетельствует о том, что, по-видимому, на механизм прогревания глубоких горизонтов воды озера оказывает влияние не только турбулентный обмен, но и какие-то другие факторы.

Б. Д. Зайков и В. П. Матвеев [2] утверждают, что в Иссык-Куле круглый год должна существовать только прямая стратификация температуры. В качестве обоснования этого они приводят данные о температуре наибольшей плотности, соответствующей солености озера 5,8‰. Эта температура на поверхности озера должна быть 2,75°C, а на глубине 100 м — 2,64°C. Материалы же наблюдений на озере [1] свидетельствуют, во-первых, о том, что температура наибольшей плотности в озере колеблется около 4°C и, во-вторых, что в озере аномальная стратификация на некоторых вертикалях существует не только зимой, но и в другие сезоны года, когда устойчивость к перемешиванию слоев разной плотности очень велика (табл. 1). Из данных табл. 1 видно, что повышение температуры наблюдается в основном на глубинах, превышающих 50 м. В мае 1978 г. на вертикали № 25 повышенная

¹ Статья публикуется в порядке обсуждения высказываемой в ней гипотезы о тектоническом происхождении температурных аномалий в оз. Иссык-Куль.

температура воды наблюдалась в 25-метровом слое (75—100 м). В июле 1970 г. на вертикали № 6 повышение температуры отмечалось на глубине 93 м. В сентябре 1968 г. на вертикали № 11 температура воды на глубине 50 м была на 3°С выше, чем на глубине 40 м, причем даже на глубине 75 м наблюдалась температура 14,1°С. В декабре 1978 г. на вертикали № 9 на глубине 50 м температура воды была на 2,5°С выше, чем на глубине 25 м.

Таблица 1

Аномалии в распределении температуры воды в оз. Иссык-Куль в различные сезоны года, °С

Глубина, м	22/V 1978, вертикаль № 25	22/VII 1970, вертикаль № 6	25/IX 1968, вертикаль № 11	19/XII 1978, вертикаль № 9
0,5	14,6	18,1	16,2	7,8
5,0	13,1	18,1	15,8	—
10,0	—	17,9	15,6	—
25,0	6,0	12,5	14,1	5,2
35,0	—	11,2	12,5	—
40,0	—	—	11,9	—
50,0	5,0	8,1	14,9	7,7
75,0	5,7	5,8	14,1	—
93,0	—	6,7	4,4	—
100,0	5,5	—	—	—
250,0	5,0	—	—	—

Существующая точка зрения о возможности аномальной стратификации вследствие мезотермии во время переходных сезонов (осенью, весной) отпадает, так как мезотермия, которая наблюдается в озерах из-за быстрого охлаждения водной поверхности осенью, охватывает довольно тонкий слой. Кроме того, в этом случае остаются необъяснимыми аномальные распределения температуры в другие сезоны года.

Попытка объяснить температурные аномалии или хотя бы найти аналоги подобных распределений в глубоких озерах привели к анализу примеров, данных Хатчинсоном при классификации озер по термическому режиму [3]. По мнению Хатчинсона, такой вид температурных кривых (рис. 1) характерен только для меромиктических озер, водные массы которых разделены на два слоя, перемешивающихся лишь частично. Озера с меромиксией Хатчинсон классифицирует в зависимости от происхождения аномальной стратификации. Иссык-Куль, по-видимому, можно отнести к типу озер с креногенной меромиксией: в таких озерах тепло в глубинные слои приносится притоком теплой воды, поступающей из подводных источников.

Для установления правомерности предположения о существовании источников в Иссык-Куле была проанализирована схема тектонических движений и схема разломов дна озера (рис. 2).

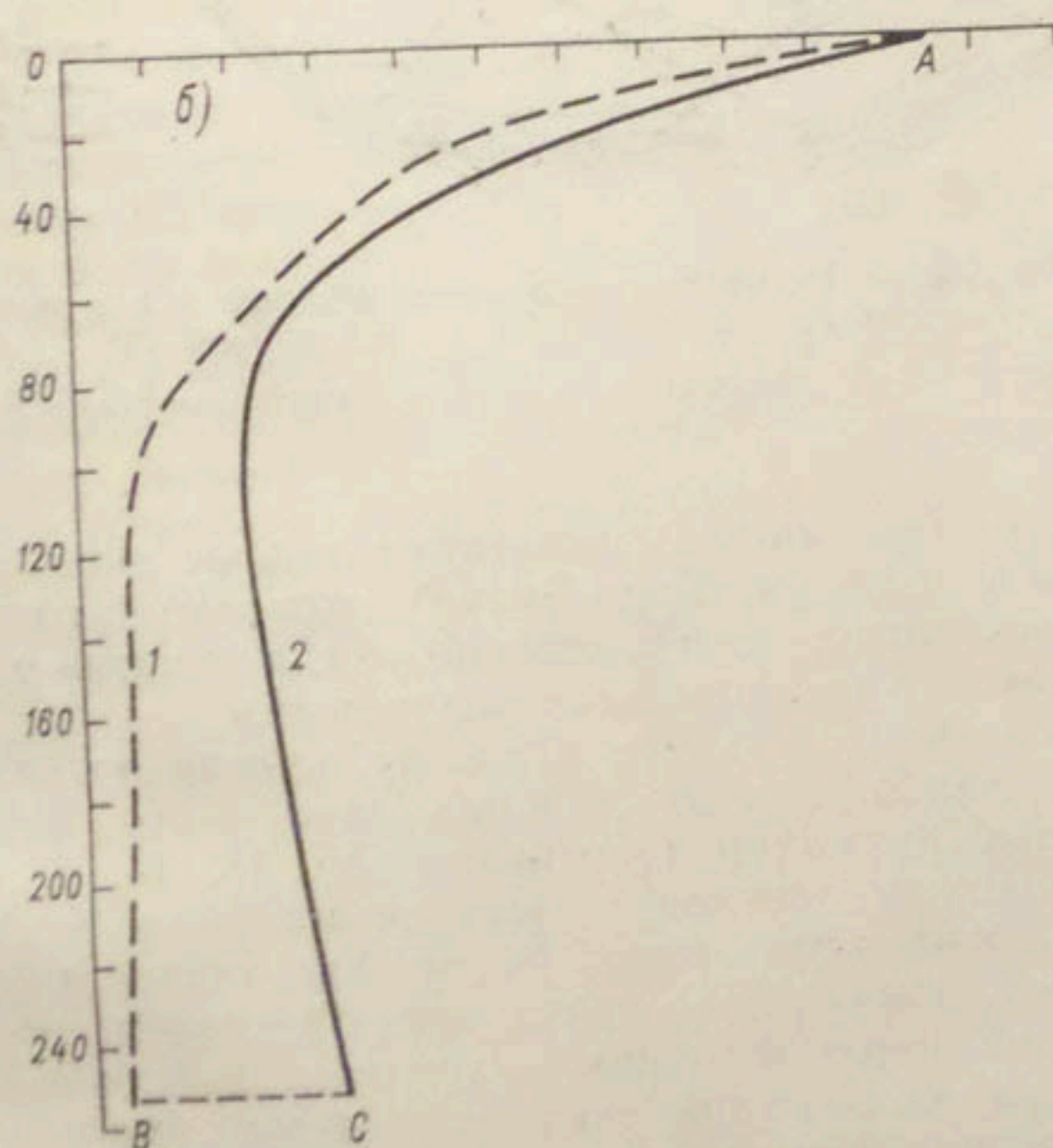
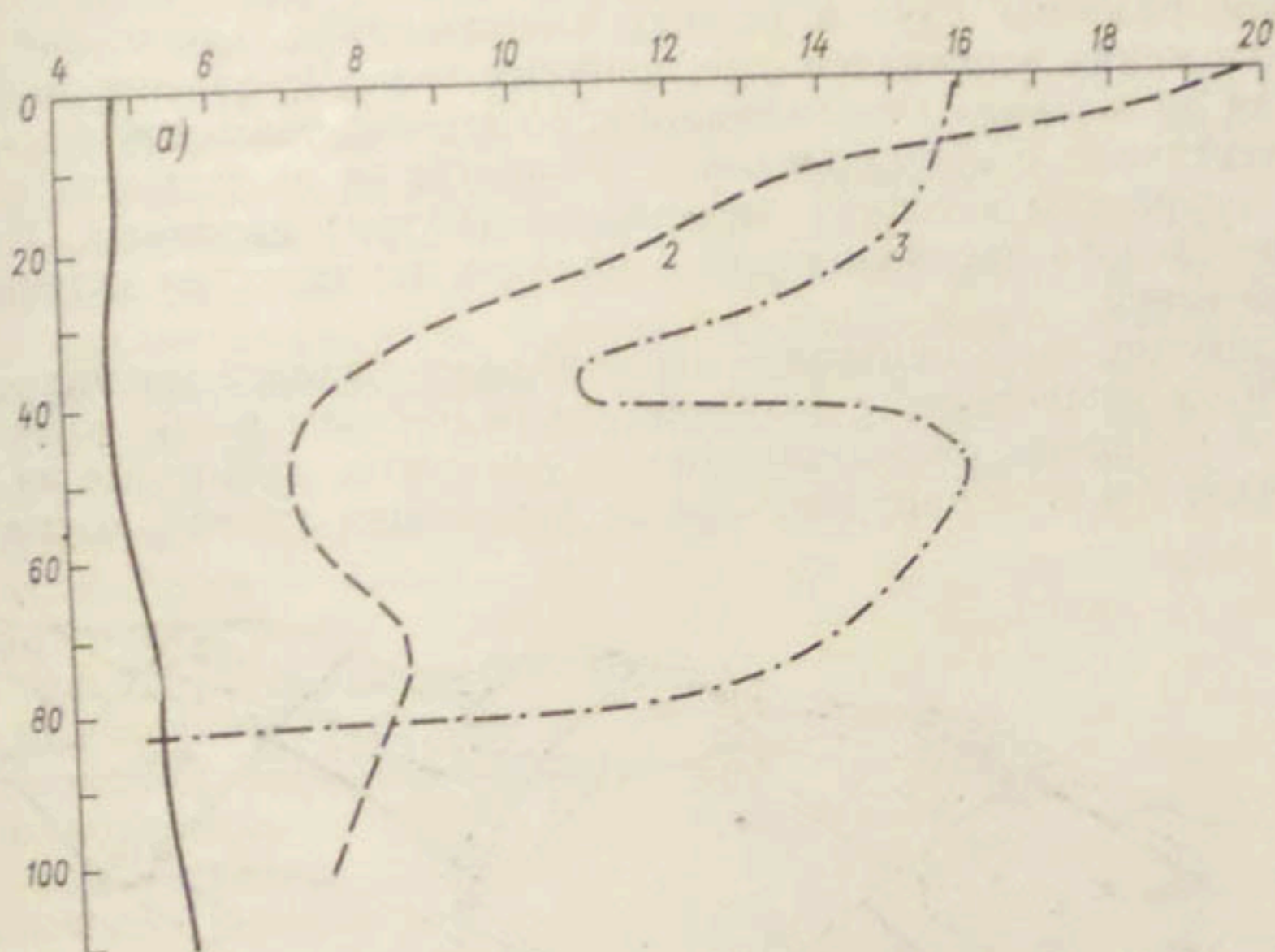


Рис. 1. Распределение температуры воды по глубине в оз. Иссык-Куль.

а — типы аномальных распределений температуры воды в озере в разные сезоны года: 1 — вертикаль № 11 (22/III 1965), 2 — вертикаль № 17 (16/VII 1969), 3 — вертикаль № 15 (25/IX 1968); б — распределение температуры воды на вертикали № 17 (1) и вертикали № 25 (2) 22/V 1978 г.

На схеме видно, что дно озера испещрено разрывами и разломами, причем разломы идут в разных направлениях. Сравнение мест расположения вертикалей, где наиболее четко выражена температурная аномальная стратификация, со схемой разломов показало, что вертикали с аномальными температурами на больших глубинах приурочены к точкам пересечения (узлам) разломов. Отсюда можно сделать предположение о наличии термических источников на дне озера.

Известно, что в приходной части водного баланса швейцарского оз. Ритом существенное значение имели расходы воды, поступающие из родников, расположенных на дне озера, некоторые из этих родников были обнаружены после понижения уровня озера [4].

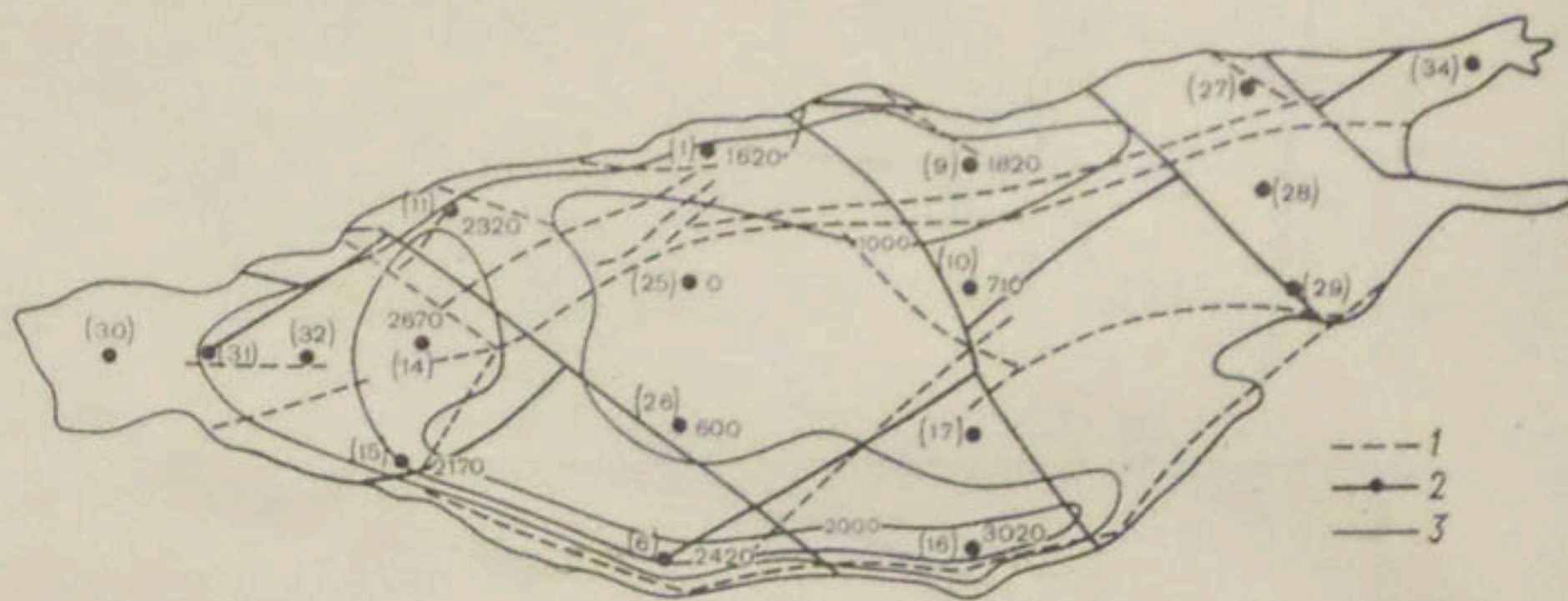


Рис. 2. Схема разломов дна оз. Иссык-Куль новейшего времени (1) и домезозойского (2), изолинии добавочного тепла от источников (3).

(9). 1820 — в скобках номер вертикали, рядом добавочное тепло в единичном столбе воды, ккал.

На берегах оз. Иссык-Куль также существуют теплые источники, в частности, на юго-востоке (м. Кара-Булун), которые находятся вблизи уреза. Следовательно, совсем недавно, когда уровень озера был выше, чем сейчас, эти родники были подводными.

В самом оз. Иссык-Куль есть места, где небольшие подвижки дна происходят постоянно, в этих районах чаще всего наблюдаются температурные аномалии (вертикали № 15, 14, 6, 16). Вероятно, действие этих источников в озере не постоянно во времени, а связано с движениями земной коры. Увеличение напряжений в земной коре, возникающее перед землетрясением, может вызвать возникновение новых источников, усиление действия старых (причем значения напряжений оказываются максимальными как раз в местах резких изменений глубин). Можно допустить также, что после землетрясения, когда напряжения в коре уменьшаются, уменьшается и напор вод одних источников, а действие других совсем прекращается.

Сравнение дат и районов землетрясений с аномалиями температуры воды свидетельствует о том, что в годы со значительным

количеством землетрясений наиболее часто наблюдаются и температурные аномалии.

В настоящее время в США проводятся исследования по изучению природы аномальных температур на глубоких горизонтах в морях и океанах [5, 6]. Так, в 1971 г. американской экспедицией было обнаружено значительное повышение температуры воды в Красном море на глубине 200 м. Такие же аномалии были найдены при исследованиях в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах. Причиной возникновения таких подводных зон повышенной температуры воды американские исследователи считают разломы земной коры и поднятие по трещинам горячей воды.

Известно также, что значительные массы воды тысячелетиями накапливаются в земной коре, заполняя трещины и поры в горных породах, часто стиснутые между водоупорными слоями, до тех пор, пока не откроется где-то свободный выход, вызванный землетрясением, тектоническими подвижками или даже вмешательством человека. Именно потому, что район Иссык-Кульской котловины отличается высокой сейсмической активностью, где под влиянием землетрясений и тектонических подвижек часто происходит переформирование отдельных участков дна, аномальные распределения температур оказываются различными для одних и тех же вертикалей в разные месяцы и годы, т. е. действие источников не является постоянным во времени.

Для расчета дебита подводных источников по специальным методикам [7] необходимо знать распределение температуры, плотности воды и скорости течения по вертикали. Вследствие отсутствия данных по течениям (сведения о распределении плотности имеются в ограниченном количестве) была разработана методика, позволяющая оценить дебит источников.

Для расчета использовались термические разрезы, проводившиеся Киргизским республиканским УГКС на 17 вертикалях, равномерно распределенных по площади озера (рис. 2). Для каждой вертикали строились графики распределения температуры по глубине. Из 17 графиков одной термической съемки выбиралась вертикаль с самыми низкими температурами в области глубин 40—100 м. Предполагалось, что эта вертикаль (рис. 1 б) наиболее удалена от источников. Чтобы исключить суточный ход температуры (измерения на разных вертикалях проводились в разное время суток), верхний 20-метровый слой, которым в основном ограничивается проникающая радиация, отсекался. Вычислялась площадь, заключенная между вертикалями, исследуемой и эталонной (рис. 1 б, площадь ABC). Эта площадь, выраженная в см^2 , численно равна значению дополнительного тепла, поступающего от источников к вертикальному столбу воды площадью сечения 1 см^2 и глубиной, равной глубине исследуемой вертикали.

Таким образом, были получены значения дополнительного тепла, вносимого источниками в вертикальный столб жидкости. Полученные для всех вертикалей значения дополнительного тепла наносились на схему озера и проводились изолинии равных

количеств тепла (рис. 2). Планиметрируя площади между изолиниями, получили суммарный приток тепла от источников по всему озеру.

Суммарное количество тепла ($\sum Q_n$), вносимое источниками в озеро, рассчитывается по формуле

$$\sum Q_n = cm(t_n - t_v), \quad (1)$$

где c — удельная теплоемкость воды; m — масса воды, поступающей от источников; t_n — температура воды источников, принятая равной температуре береговых источников ($40-50^\circ\text{C}$); t_v — средняя температура воды данной вертикали.

Объем воды, поступающей в озеро от источников, определялся по формуле

$$V = \frac{\sum Q_n}{(t_n - t_v) \rho}, \quad (2)$$

где ρ — плотность воды.

Получив объемы воды по двум последовательным термическим съемкам и зная время, прошедшее между съемками, можно вычислить суммарный дебит источников в озеро

$$D = \frac{V_n - V_{n-1}}{\tau}, \quad (3)$$

где n — номер температурной съемки; τ — время между съемками.

Таким образом был рассчитан дебит точечных источников в озере за 9 месяцев 1968 г. Он оказался равным 200 л/с, что, по-видимому, намного ниже действительного. Это связано с тем, что, во-первых, при использовании указанного метода расчета было сделано предположение, что приток тепла в промежутке между наблюдениями отсутствует и, во-вторых, тем, что при расчетах были использованы случайные данные (1 наблюдение в месяц). Если предположить, что источники действуют в течение суток в среднем не более 1 ч, то их суммарный дебит по всему озеру за 9 месяцев составит около 6 м³/с.

Анализ материалов суточных станций, проведенных в 1978 г. экспедицией ГГИ и Киргизским республиканским УГКС, показал, что подъем температуры в придонных слоях происходит периодически. По данным суточных станций дебиты отдельных точечных источников, рассчитанные по приведенной выше методике, лежат в пределах 0,1—10 л/с.

В мае и августе 1978 г. экспедицией ГГИ и Киргизским республиканским УГКС были проведены гидрохимические съемки на озере. Следует заметить, что 25/III 1978 г. в Иссык-Кульской котловине произошло сильное землетрясение, в эпицентре которого (на северо-восточном побережье озера) были зарегистрированы толчки силой 8 баллов. По-видимому, в результате этого произошла разгрузка термальных вод в озеро. Так, например, в гидрохимической съемке, проведенной в мае, отмечается повышение температуры на глубине 100 и 250 м. По данным этой съемки были рассчитаны со-

леность и плотность на различных вертикалях. Расчет плотности производился по формулам для морской воды [8, 9], что приводит к ошибке в абсолютном значении плотности для воды оз. Иссык-Куль, но практически не сказывается на соотношении между плотностями различных горизонтов. Полученные в результате расчетов значения солености и плотности не подтвердили известное мнение о равномерном распределении их по глубине [9]. В табл. 2 приведены данные по распределению солености и плотности на некоторых вертикалях. Как видно из данных табл. 2, почти на всех вертикалях характер распределения солености оказался следующим: рост от поверхности до глубины примерно 50—75 м, затем резкое падение ее (иногда значение солености на глубине 75 м ниже, чем у поверхности) и, начиная с глубины 50—75 м, снова рост солености. Таким образом, на глубинах 50—75 м образуется подобие жидкого дна. В районах некоторых вертикалей на больших глубинах выявлены пятна пониженной плотности. Это следующие районы: вертикаль № 14, горизонт 100 м; вертикаль № 25, где пониженная плотность захватывает мощный слой 75—200 м; вертикаль № 10, горизонт 250 м.

Таблица 2

Распределение солености и плотности на некоторых вертикалях
(по гидрохимической съемке)

Глубина, м	Соленость га вертикалях, ‰			Условная плотность на вертикалях, г/см ³		
	№ 14	№ 25	№ 10	№ 14	№ 25	№ 10
5	5,969	5,961	5,994	3,63	3,86	3,63
25	6,033	5,985	6,009	4,53	4,62	4,50
50	6,045	6,046	6,013	4,76	4,74	4,60
75	6,071	5,984	5,967	4,79	4,64	4,61
100	5,957	5,970	6,030	4,71	4,64	4,77
110	6,052	—	—	4,80	—	—
250	—	5,997	6,003	—	4,69	4,74

Примечание. Условная плотность — это (плотность морской воды — 1) × × 1000.

Анализ гидрохимической съемки, проведенной в августе 1978 г., также позволил обнаружить пятна пониженной солености и плотности при отсутствии явных температурных аномалий, в частности, такое пятно обнаружено на вертикали № 6 на глубине 75 м, что соответствует месту наиболее частых выходов термальных вод и приурочено к точке пересечения разломов домезозойского фундамента на дне озера (рис. 2). Пятна пониженной солености свидетельствуют о том, что минерализация термических вод, разгружающихся в озеро, меньше озерной.

Во время гидрохимической съемки в декабре 1978 г., сопровождавшейся измерениями температуры воды, были получены интересные данные о распределении температуры в прибрежной и открытой частях озера. Оказалось, что в районе метеостанции Чолпон-Ата в утренние часы на вертикали № 1 (глубина 40 м) температура поверхности воды 8°C , а на вертикали № 25 (глубина 250 м) 5°C . Известно, что в зимнее время наиболее высокая температура воды наблюдается в центральных, более глубоких частях водоемов. Отмеченная выше аномально высокая температура воды обусловлена, по-видимому, разгрузкой термальных вод.

Все вышеприведенные данные свидетельствуют о наличии подводных источников в оз. Иссык-Куль. Задачей дальнейших исследований является выяснение влияния термальных источников на формирование термического режима озера, так как вполне вероятно, что причиной незамерзания озера является дополнительный приток тепла от источников, исследование их режима и совершенствование методики расчета дебита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах, т. 5, вып. 0—4—9, Ташкент, 1964—1971 гг.
2. Зайков Б. Д. Очерки по озероведению.— Л.: Гидрометеониздат, 1955.— 195 с.
3. Хатчинсон Г. Е. Лимнология.— М.: Прогресс, 1969, с. 199—205.
4. Филатова Т. Н., Фортунатов М. А. Термические особенности и вертикальный обмен в меромиктических озерах на примере оз. Гек-Гель.— Труды ГГИ, 1973, вып. 203.
5. Кульский Л. А., Даль В. В. Чистая вода.— Киев: Наукова думка, 1978, с. 14—15.
6. Янов Э. Н., Хайкин М. С. Минеральные ресурсы Мирового океана.— М.: Знание, 1978.— 17 с.
7. Юровский Ю. Г. Об оценке величины субмаринной разгрузки подземных вод.— Известия ВГО, 1973, т. 105, с. 174—180.
8. Океанографическая энциклопедия.— Л.: Гидрометеониздат, 1974.— 381 с.
9. Матвеев В. П. О солености озера Иссык-Куль.— Записки ГГИ, 1932, т. 6, с. 80—90.

П. П. Куцева

ЭЛЕМЕНТЫ БАЛАНСА ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Интенсивное освоение природных комплексов бассейна оз. Иссык-Куль в связи с превращением этого района в здравницу всесоюзного значения неизбежно повлечет за собой увеличение нагрузки на водоем как в связи с увеличением водозабора из рек, так и в связи с возрастанием количества сточных вод, в основном хозяйственно-бытового происхождения, а также от предприятий пищевой промышленности и сельского хозяйства.

В этой связи возникает задача (наряду с уточнением водного баланса оз. Иссык-Куль) дать оценку основных изменений баланса химических веществ водной толщи озера и выявить возможные изменения в его структуре за период проведения наблюдений за химическим составом природных вод бассейна. Решение такой задачи позволило бы дать прогноз изменения состава озерной воды как обусловленного естественными природными процессами, так и вызванного воздействием антропогенных факторов.

Для расчета элементов баланса химических веществ воды озера были использованы результаты экспедиционных работ, выполненных в течение 1977 г., а также сведения, содержащиеся в Гидрологических ежегодниках и в работах [1—4]. Атмосферная составляющая баланса химических веществ рассчитывалась по результатам анализа атмосферных осадков, отобранных в районе городов Пржевальска и Чолпон-Ата с привлечением данных, приводимых П. В. Денисовым [5].

В основу расчетов были положены данные по водному балансу оз. Иссык-Куль, составленному в ГГИ по материалам Киргизгипроводхоза.

В оз. Иссык-Куль впадает 118 рек и ручьев. Более развитая гидрографическая сеть приурочена к средней и восточной части соответственно распределению осадков. Водность рек невелика. Наибольшую водность имеют реки, расположенные в восточной части северного склона хребта Терской-Алатау. Минерализация воды наиболее крупных рек изменяется в пределах 100—300 мг/л.

Среди катионов преобладают ионы кальция, среди анионов — гидрокарбонатные ионы.

Для подсчета ионного стока рек были использованы среднегодовые многолетние значения минерализации и содержания отдельных ионов (табл. 1), определенные по методу О. А. Алекина и Л. В. Бразниковой [6].

Таблица 1

Средний химический состав речных вод бассейна оз. Иссык-Куль

Единица измерения	Ионы						
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σ и
мг/л	38	4,1	6,5	119	22	3,8	193
мг-экв/л	1,90	0,34	0,26	1,95	0,45	0,10	5,0
% экв	38,0	6,8	5,2	39	9,0	2,0	

Минерализация атмосферных осадков, отобранных в высокогорной части хребта Терской-Алатау, изменяется в пределах 8,0—29,0 мг/л [7].

Среднегодовой химический состав и минерализация атмосферных осадков были получены как среднеарифметические значения для жидких и твердых осадков (табл. 2).

Таблица 2

Средний химический состав атмосферных осадков Иссык-Кульской котловины (по данным 1968 г.)

Единица измерения	Ионы						
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σ и
мг/л	2,8	2,3	1,0	14,1	4,7	1,2	26,1
мг-экв/л	0,14	0,19	0,04	0,23	0,10	0,04	
% экв	18,9	25,6	5,5	31,1	13,5	5,4	

Химический состав воды озера резко отличается от состава воды питающих его рек и атмосферных осадков. По сравнению с ними относительное содержание гидрокарбонатных и кальциевых ионов составляет 3—3,5 % экв. Относительное содержание хлоридных и сульфатных ионов и ионов щелочных металлов колеблется от 5—10 до 20—32 % экв. Различие абсолютного содержания отдельных ионов еще более значительно. Если содержание гидрокарбонатных и кальциевых ионов в воде озера в 3 раза больше, чем в речной воде, то концентрация ионов магния больше в 70, сульфатных ионов — в 100, ионов щелочных металлов — в 200 и хлоридных ионов — в 400 раз.

Таким образом очевидно, что процесс накопления гидрокарбонатных и кальциевых ионов идет с гораздо меньшей интенсивностью, чем остальных компонентов.

Причиной этого является нарушение карбонатного равновесия при смешении пресных речных и атмосферных вод с высокоминерализованными озерными водами. Процесс разложения и выпадения в осадок карбоната кальция сопровождается выделением CO_2 и воды.

Одновременно происходит еще более интенсивный процесс накопления других ионов, причем интенсивность этого процесса для каждого иона различна: самая низкая для магния и самая высокая для хлоридных ионов. Такое различие может, видимо, объясняться неучтенными еще путями убыли части ионов. Однако возможно и другое объяснение этого факта: поступление в озеро подземных вод с высоким содержанием хлоридных и сульфатных ионов и ионов щелочных металлов.

Мы не располагаем точными данными о подземном водном стоке в оз. Иссык-Куль, однако в литературе имеются сведения о том, что при хороших условиях питания водоносных горизонтов, их большой мощности и проницаемости, а также при высоких градиентах напора подземный водный сток может быть интенсивным. И если даже подземный водный сток составляет незначительную долю от речного, ионный подземный сток благодаря высокой минерализации подземных вод может играть заметную роль в балансе химических веществ.

Баланс химических веществ водной толщи оз. Иссык-Куль может быть представлен следующим уравнением:

$$Q_{\text{речи}} + Q_{\text{атм}} + Q_{\text{подз}} = Q_{\text{осажд}} + Q_{\text{инф}} + \Delta Q_{\text{оз}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{речи}}$ — количество ионов, вносимых речными водами; $Q_{\text{атм}}$ — количество ионов, поступающих с атмосферными осадками; $Q_{\text{подз}}$ — количество ионов, вносимых подземными водами; $Q_{\text{осажд}}$ — количество ионов, выпадающих в осадок в виде карбоната кальция; $Q_{\text{инф}}$ — потеря солей за счет инфильтрации в берега; $\Delta Q_{\text{оз}}$ — прирост или убыль общего количества ионов в водной толще озера.

Такие статьи баланса, как эоловый принос и вынос солей, можно не учитывать, так как замкнутость котловины озера и характер циркуляции воздушных масс в ней, по-видимому, уравновешивают эти процессы. Не принимают во внимание также и потери солей при отшнуровывании лагун, основываясь на мнении Л. Г. Бондарева [8] о незначительной роли этого фактора в условиях Иссык-Кульской котловины.

Расчеты показали, что ежегодное поступление ионов с речными водами составляет 540 тыс. т. Атмосферная составляющая баланса химических веществ достигает 40 тыс. т в год. Итого с поверхностными водами в оз. Иссык-Куль поступает 580 тыс. т ионов в год.

Из-за отсутствия достоверных данных о количестве поступающих в озеро подземных вод рассчитать $Q_{\text{подз}}$ пока не представляется возможным.

За счет нарушения карбонатного равновесия (по расчетам) из общего количества поступивших солей ежегодно выпадает в осадок 230 тыс. т карбоната кальция и при этом выделяется 130 тыс. т углекислого газа и 50 тыс. т воды (что в сумме составляет 410 тыс. т).

Следовательно, ежегодно на пополнение запаса солей в водной толще озера идет всего 170 тыс. т минеральных веществ за счет поверхностного стока. За 45-летний период наблюдений солевой запас в водной толще озера за счет поверхностного стока должен был увеличиться на 7,7 млн. т. Таким образом, прирост минерализации воды озера за счет этой составляющей солевого баланса должен был составить около 4 мг/л за 45 лет, т. е. 0,1 мг/л за год.

Рассмотрим теперь возможность расчета изменения минерализации и запаса солей в озере на протяжении этого же периода на основании непосредственных данных по химическому составу воды за 1932 и 1977 гг.

Средний химический состав воды оз. Иссык-Куль по результатам исследований, выполненных в 1932 г. В. П. Матвеевым [9], характеризовался следующими значениями (в г/кг):

Ca^{2+} — 0,114	HCO_3^- — 0,240
Mg^{2+} — 0,294	SO_4^{2-} — 2,115
Na^+ — 1,407	Cl^- — 1,585
K^+ — 0,068	Σ и — 5,823

По данным работ, выполненных в 1977 г. УГМС Киргизской ССР и Гидрохимическим институтом, средний химический состав воды озера характеризовался следующими значениями (в г/кг):

Ca^{2+} — 0,118	HCO_3^- — 0,310
Mg^{2+} — 0,302	SO_4^{2-} — 2,225
Na^+ — 1,201	Cl^- — 1,597
K^+ — 0,085	Σ и — 5,838

Следовательно, за период с 1932 г. средняя минерализация воды оз. Иссык-Куль увеличилась на 15 мг/л, т. е. на 0,3 мг/л в год. Однако такое различие между двумя значениями средней минерализации несущественно и не превышает ошибку определения отдельных компонентов, особенно если учесть, что методы определения ряда ингредиентов химического состава были различными.

Наряду с главными ионами в озере с течением времени должны были накапливаться и другие вещества. Особый интерес в этом отношении представляет кремний, который имеет огромное значение в развитии фитопланктонных организмов водоемов.

Основным источником поступления кремния в оз. Иссык-Куль являются продукты выветривания горных пород. Содержание кремния в речных водах составляет около 2,5 мг/л. В подземных водах региона (кроме термальных) оно достигает 5—6 мг/л. В термальных водах кремний присутствует в еще большем количестве.

Однако в противоположность главным ионам кремний в воде озера содержится в более низких концентрациях, чем в речных и подземных. Средняя концентрация его в водной толще составляет всего около 1,1 мг/л. Таким образом, кремний уходит из воды оз. Иссык-Куль в связи с использованием его фитопланктонами, в первую очередь диатомовыми организмами, и поэтому не оказывает существенного влияния на баланс химических веществ водной толщи.

В окончательном виде баланс химических веществ оз. Иссык-Куль выглядит следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Баланс минеральных веществ оз. Иссык-Куль

Приход			Расход		
характеристика	индекс по уравнению (1)	тыс. т/год	характеристика	индекс по уравнению (1)	тыс. т/год
Приток с речными водами	$Q_{\text{реч}}$	540	Разложение карбонатов:	$Q_{\text{осажд}}$	
Поступление с атмосферными осадками	$Q_{\text{атм}}$	40	осаждение кальцита		230
Подземный приток	$Q_{\text{подз}}$		выделение CO_2		130
			образование H_2O		50
			Итого:		410
			Инфильтрация в берега	$Q_{\text{инф}}$	
			Прирост солевого запаса	$Q_{\text{оз}}$	$170 + x$

Нам представляется несколько затруднительным на основе этого баланса делать безоговорочный вывод об увеличении запаса солей в озере (на 580 тыс. т ежегодно, по ориентировочным расчетам). Тем не менее в качестве рабочей гипотезы можно считать, что такой процесс имеет место, причем большую роль при этом играет поступление солей с подземными водами.

Если принять общий солевой запас озера 10,08 млрд. т, то ежегодный прирост его не превышает 0,005 %.

Необходимо обратить особое внимание на определение таких компонентов химического состава воды, как сульфатные, хлоридные и натриевые ионы, чтобы с большей степенью достоверности выявить тенденцию изменения их содержания. Таким образом, в дальнейшем может быть однозначно решен вопрос об отрицательном или положительном значении такой важной составляющей баланса химических веществ, как прирост солевого запаса. Пока мы оставляем этот вопрос открытым.

Остается нерассмотренным еще один компонент расходной части солевого баланса — инфильтрации солей в берега. По данным ряда авторов, этот факт не имеет большого значения. Однако наблюдения М. Н. Тарасова на оз. Балхаш [10] показали, что в определенных условиях фильтрация солей в берега становится одной из главных причин убыли солей из бессточного водоема. Возможно, что подобные условия имеют место на восточном и юго-восточном побережье Иссык-Куля.

До сих пор, говоря о солевом балансе оз. Иссык-Куль, мы не упоминали о влиянии на него антропогенного фактора. Вернее можно сказать, мы подразумевали наличие такого фактора, но считали, что он служит причиной изменения структуры водного баланса (увеличение водозабора), а на балансе химических веществ сказывается косвенным образом.

Однако необходимо остановиться и на прямом воздействии антропогенного фактора на химический состав воды, а следовательно, и на баланс химических веществ. Во-первых, это касается некоторых биогенных элементов. Интенсивное развитие животноводства, вовлечение в сельскохозяйственный оборот новых земельных площадей, увеличение сети санаторно-курортных учреждений и расширяющееся использование бассейна оз. Иссык-Куль в рекреационных целях — все это, возможно, будет иметь следствием увеличение содержания биогенных элементов как в речных водах, так и в прибрежных зонах озера.

Во-вторых, влияние антропогенного фактора, по аналогии с другими регионами, должно было привести к увеличению поступления в озеро взвешенных веществ.

В-третьих, применение в сельском хозяйстве ядохимикатов, резкое развитие автомобильного транспорта, а в крупных населенных пунктах, расположенных на побережье, увеличение количества плавсредств, оснащенных моторами, может вызвать угрозу загрязнения воды озера веществами, которые отсутствуют в его естественном фоне (ядохимикатов и нефтепродуктов).

Вполне вероятно, что в общем балансе химических веществ воды озера эти соединения будут играть незначительную роль. По-видимому, для них будет более целесообразно рассчитать баланс не по всему объему озера, а по отдельным его районам (заливам, затонам).

Выводы

1. На основании количественной характеристики элементов баланса химических веществ оз. Иссык-Куль, связанных с поступлением за счет поверхностного стока, установлено, что в водную толщу переходит всего около 30 % веществ, приносимых в озеро с поверхностным стоком.

2. Результаты предварительных расчетов указывают на увеличение минерализации воды оз. Иссык-Куль за последние 45 лет (1932—1977 гг.) на 15 мг/л.

3. Задачей дальнейших исследований является расчет таких составляющих баланса химических веществ, как поступление солей с подземными водами и инфильтрация их в берега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипова А., Кадыров В. К. Гидродинамическая характеристика бассейна р. Чон-Кызыл-Су.— В кн.: Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1966, вып. 3, ч. 1, с. 9—15.
2. Кадыров В. К., Турдакова И. К гидрохимии заливов и затонов оз. Иссык-Куль.— В кн.: Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1966, вып. 3, ч. 2, с. 8—29.
3. Кадыров В. К., Карманчук А. С. Гидрохимические черты рек Иссык-Кульской котловины.— В кн.: Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1971, с. 3—16.
4. Кадыров В. К., Семенова В. Г., Карманчук А. С. Новые данные о химическом составе воды рек Иссык-Кульского бассейна.— В кн.: Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1976, вып. 37, с. 71—85.
5. Денисов П. В. Химический состав атмосферных осадков Северного Тянь-Шаня.— ДАН, 1956, т. 110, № 5, с. 842—843.
6. Алекин О. А. Основы гидрохимии.— Л.: Гидрометеониздат, 1953.— 296 с.
7. Осипова А. Химический состав атмосферных осадков бассейна р. Чон-Кызыл-Су.— В кн.: Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1966, вып. 3, ч. 1, с. 4—8.
8. Бондарев Л. Г. Солевой баланс Иссык-Куля и вопросы определения продолжительности существования озера.— В кн.: Работы Тянь-Шанской высокогорной физико-географической станции. Фрунзе, 1962, вып. 5, с. 3—29.
9. Матвеев В. П. Гидрологические исследования на оз. Иссык-Куль в 1932 г.— Труды Кирг. комплексной экспедиции АН СССР, 1935, т. 3, вып. 2, с. 7—56.
10. Тарасов М. Н. Гидрохимия озера Балхаш.— Л.: Гидрометеониздат, 1965.— 227 с.

З. И. Мельникова, Н. П. Терентьева, Х. С. Малаева

СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И МИКРОФЛОРЫ ВОДЫ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ В СЕВЕРНОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЕ

В настоящей работе представлены результаты сезонных химических и микробиологических наблюдений, проведенных в течение 1976—1977 гг. в северной курортной зоне оз. Иссык-Куль. Исследования проводились в районах сел Чоктал, Долинка, Бозтери, Комсомол, где пробы воды отбирались у берега и на расстоянии 0,2, 0,5 и 1,0 км от берега, а в самом густонаселенном районе Чолпон-Ата (дом отдыха Чолпон-Ата) у берега и в 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0 км от берега. На всех станциях были отобраны поверхностные, а в 1977 г. и придонные пробы воды на содержание азота и фосфора.

Среди минеральных соединений азота преобладающей формой является азот нитратных ионов. В рассматриваемый период содержание нитратного азота изменялось в пределах 0,01—0,16 мг/л, при среднем значении 0,05 мг/л. Максимальная концентрация азота нитратов наблюдается в весенний период за счет поступления их с паводковыми водами, а также активно протекающего процесса нитрификации. Летом, в период массового развития водорослей, и осенью концентрация нитратов в воде незначительно снижается.

Существенного различия в содержании азота нитратов по изученным створам не обнаружено. Можно выделить только береговую часть в районе с. Долинка, где во все сезоны значения азота нитратов выше, чем на остальных станциях. В процессе анализа установлено, что среднее содержание нитратов на поверхности несколько выше, чем у дна.

Кроме азота нитратов во всех отобранных пробах определялся азот нитритов. Отмечены незначительные его концентрации на поверхности и у дна (0,002—0,003 мг/л). В сезонной динамике можно выделить весенний период, в течение которого среднее значение нитритов выше, чем в остальные сезоны.

Одновременно изучена динамика развития денитрифицирующих и нитрифицирующих бактерий: если в летний период одина-

ково активны процессы нитрификации и денитрификации, то осенью доминирует денитрификация. Отмечено, что эти микробиологические процессы на поверхности водоема более активны, чем у дна.

В сезонном ходе изменений содержания общего фосфора наблюдалось значительное увеличение его в летнее время. При этом наибольшая концентрация до 0,180 мгР/л отмечалась в придонном слое воды, тогда как на поверхности в среднем она была 0,083 мгР/л. Осенью количество общего фосфора снижается до 0,039—0,066 мгР/л. Исключением является зал. Чолпон-Ата, в котором повышенная концентрация фосфора (0,071—0,112 мгР/л) наблюдалась и в осенний период. Это обусловлено, очевидно, высокой степенью развития планктона и накоплением общего фосфора в результате повышенной минерализации органического вещества. Летом и осенью отмечено увеличение общего фосфора во всех исследуемых районах в полосе до 0,5 км от берега.

Химико-биологическое состояние водоема определяет растворенный в воде кислород, главным источником поступления которого в поверхностные воды являются процессы абсорбции его из атмосферы и продуцирование в результате фотосинтетической деятельности водных организмов.

Минимум концентрации растворенного кислорода в воде озера приходится на летний период (7,53—7,87 мгО₂/л), к осени происходит увеличение концентрации до 8,66—9,69 мгО₂/л, а максимум наблюдается весной — 10,10—10,83 мгО₂/л. Распределение растворенного кислорода во всех створах отбора проб одинаково.

Относительное представление о содержании легкоокисляемых органических веществ можно получить, определяя биохимическое потребление кислорода (БПК₅). В изучаемых районах самое высокое значение БПК₅ (3,68 мгО₂/л) отмечается в летний период на расстоянии 0,5 км от берега. В этот период с поверхностным стоком и сточными водами в водоем поступает большое количество загрязняющих веществ за счет увеличения численности населения в летний сезон.

Осенью БПК₅ значительно ниже (0,80 мгО₂/л), а к весне происходит увеличение до 1,64 мгО₂/л, так как в это время реки и паводковые воды окрестных территорий несут в себе много органического вещества, на окисление которого необходим кислород. Во все сезоны года на поверхности значение БПК₅ выше, чем в придонном слое, особенно это ярко выражено в летний период.

Одним из показателей, характеризующих чистоту водоема, является перманганатная окисляемость. Значение ее изменяется по сезонам. Наибольшее значение ее отмечено в летний период 1977 г. — 3,13 мгО/л, а в летний период 1976 г. она равнялась 2,15 мгО/л. В осенний сезон 1976 г. перманганатная окисляемость была 2,65 мгО/л, а в 1977 г. увеличилась до 3,02 мгО/л.

Интересно отметить, что осенью и летом наибольшее значение перманганатной окисляемости во всех пунктах отбора проб наблюдается на расстоянии 0,2 км от берега. Наивысшие значения

и Чолпон-Атинский залив, в остальных точках отбора вода озера была не загрязнена. На основании этих данных мы можем сделать вывод, что в осенне-летний сезон 1977 г. в озеро поступило больше загрязнений, чем в 1976 г. Что касается весеннего периода, то в это время озеро было наиболее чистым.

Распределение взвешенных веществ по сезонам года в воде озера неравномерно. Максимальная концентрация взвесей наблюдается в летнее время (21,54 мг/л), в это время поступление взвешенных веществ осуществляется за счет взмучивания донных наносов и развития планктона. Во всех исследованных районах наибольшая мутность отмечается в прибрежной полосе до 1 км.

В весенний период количество взвесей распределяется по озеру более равномерно (14—39 мг/л).

Средняя концентрация взвесей в осенний период 28 мг/л, наибольшее количество взвешенных веществ приходится на прибрежный район до 0,5 км от берега; самая высокая концентрация взвешенных веществ (67 мг/л) обнаружена в районе с. Чоктал. Наличие большого количества взвешенных веществ в прибрежной зоне во все сезоны года можно отнести за счет поверхностного стока, взмучивания и развития планктона.

При микробиологическом исследовании установлено, что в воде оз. Иссык-Куль широко распространены сапрофитные бактерии, деятельность которых связана с трансформацией органического вещества и является показателем скорости распада отмерших животных и растений.

Сапрофиты в значительном количестве (130—72 000 кл/мл) были выявлены во всех изучавшихся районах. Наибольшее их скопление во все сезоны года наблюдалось в прибрежной полосе озера, что указывает на большее количество там органических веществ и, вероятно, на большее загрязнение. Максимальное развитие сапрофитных бактерий отмечено в летне-осенний период.

По результатам исследований 1977 г. установлено, что в придонном слое воды содержание сапрофитов меньше, чем на поверхности.

В настоящее время одним из токсикантов является нефть и нефтепродукты. По данным Киргизского республиканского УГКС их концентрация в апреле—июне 1977 г. составляла 0,06—0,33 мг/л, а в марте в Рыбачинском заливе на расстоянии 100 м от берега была равна 0,86 мг/л, что более чем в 2 раза превысило норму. В эти же периоды были проведены исследования по определению наличия и численности микроорганизмов, окисляющих углеводороды, входящие в состав нефтяных загрязнений.

В наибольшем количестве (1—10 тыс. кл/мл) выявлены микроорганизмы, окисляющие дизельное масло. В несколько меньшем количестве обнаружены микроорганизмы, окисляющие керосин и машинное масло. Полученные данные свидетельствуют о том, что главным источником нефтяного загрязнения озера является судоходство и расположенные на побережье автобазы.

Результаты исследования озерной воды в северной курортной зоне в 1976—1977 гг. позволяют отметить незначительное увеличение концентраций загрязняющих компонентов в прибрежной зоне. Сезонные колебания отдельных показателей загрязнения свидетельствуют о том, что в летний период с увеличением количества отдыхающих и более интенсивным использованием автотранспорта возрастает сброс в озеро бытовых недостаточно очищенных сточных вод, а также поступление загрязнений с территорий поселков и здравниц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии.— Л.: Гидрометеиздат, 1970.—296 с.
2. Кадыров В. К. Содержание и динамика растворенного кислорода в воде озера Иссык-Куль.— В кн.: Тезисы докладов конференции по вопросам рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. Фрунзе, 1968, с. 47—54.

Д. А. Алымкулов, З. И. Мельникова

ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ И ЛЕЧЕБНО-ГРЯЗЕВЫЕ РЕСУРСЫ ПРИИССЫККУЛЬЯ

Богатая природа оз. Иссык-Куль служит надежной базой для развития здесь союзной здравницы. На территории Иссык-Кульской котловины и ее горного обрамления сосредоточено около 20 месторождений минеральных вод. Согласно генетической классификации В. В. Иванова (1977 г.) минеральные воды Прииссыккулья относятся к четырем типам (табл. 1).

Здесь расположены уникальные по высокой радиоактивности (до 153 нКи/л) и минерализации (до 13 г/л) хлоридно-натриево-кальциевые воды курорта Джеты-Огуз. На широко известных курортах такого типа, как Белокуриха и Цхалтубо, значение минерализации и концентрация радона в 15—30 раз меньше джеты-огузских. Общие ресурсы радоновых вод курорта составляют 4,5 л/с.

Преобладающее число месторождений минеральных вод Прииссыккулья относится к слабоминерализованным кремнистым термальным водам сложного анионного и преимущественно натриевого катионного состава. Характерным для них является высокое содержание кремниевой кислоты (30—80 мг/л, или до 20 % общей минерализации) и фтора (до 13 мг/л), щелочная реакция (рН до 9,5). Воды такого типа широко распространены и практически освоены как в Советском Союзе (Кульдур, Горячинск, Ходжа-Оби-Гарм, Иссык-Ата и др.), так и за рубежом (Болгария, Франция и др.).

Общий дебит минеральных вод составляет около 50 л/с. Расположены они как в горном обрамлении, так и непосредственно на побережье озера. На месторождениях Карабулун, Долинка, Курское проводится поиск и разведка минеральных вод и их детальное изучение.

В курортных условиях применяются воды Ак-Су, Джергалан, Чон-Кызыл-Су, причем используются они лишь частично. Слабоминерализованные кремнистые термы составляют значительные резервы минеральных вод ИКР.

**Краткая характеристика месторождений минеральных вод
Иссык-Кульского курортного района**

Название месторож- дений минеральных вод	Высота над уровнем мо- ря, м	Дебит, л/с	Температура, °C	M г/л	Современное исполь- зование
--	------------------------------------	------------	--------------------	-------	--------------------------------

Радоновые хлоридно-натриево-кальциевые

Джеты-Огуз | 2200 | 4,5 | 23,6—38,5 | 0,7—13,0 | Курорт

**Азотные кремнистые щелочные слабоминерализованные термы
кульдурского типа**

Ак-Суу	1950	10,0	58,2	0,4	Санаторий
Чон-Кызыл-Су	2410	1,5	25,6—40,2	0,4	Бальнеолечебница
Бозучук	2200	0,6	29,0	0,9	—
Джуукучак	2800	0,6	32,8	0,4	—
Керегеташ	3040	0,2	46,0	0,9	Бальнеолечебница
Алтын-Арашан	2335	0,4	50,5	0,4	—
Сары-Джас	2519	незнач.	50,0	0,9	—
Уч-Кайнар	1610	2,0	22,0	0,8	—
Джергалан	1624	17,0	43,0	0,9	Курорт
Карабулун	1610	15,7	41,3	0,4	—
Долинка	1645	4,0	49,0	3,1	—
Курское	1645	8,3	42,0	0,9	—

**Высокоминерализованные хлоридные натриево-кальциевые термы
чертакского типа**

Комсомол	1630	8,0 (отк)	40,0	18,7	Завершены раз- вед. работы
Чолпон-Ата	1645	15—16 (отк)	45—52	15—30	Запасы утвержда- ются ГКЗ
Пансионат Сов- мина Кирг. ССР	1645	6,5 (отк)	48,5	15,0	
Алатау	1640	8,0 (отк)	52	29,	То же

Углекислые типы нарзанов

Улахол | 2450 | — | 16,0 | 1,3 | —

Хлоридно-сульфатные натриево-магниевые

оз. Иссык-Куль | 1609 | — | 22 | 5,8—5,9 | Бассейны, ванны

В последние годы гидрогеологами Управления геологии Кир-
гизской ССР открыты на территории северного берега оз. Иссык-
Куль новые типы минеральных вод: азотных высокоминерализо-
ванных (до 15—40 г/л) терм, по составу и свойствам напоминаю-
щих лечебные минеральные воды курортов Чартак, Старая Русса.
Ресурсы их значительны и они перспективны для освоения.

Совсем не изучены и соответственно не нашли практического использования углекислые воды на северном склоне Терской-Алатау (месторождение «Улахол»).

Значительный интерес для развития бальнеологических санаториев и курортов представляет вода оз. Иссык-Куль, имеющая хлоридно-сульфатный натриево-магниевый состав и минерализацию 5,8—5,9 г/л.

На акватории и в прибрежной части оз. Иссык-Куль сосредоточены основные месторождения лечебных грязей. В настоящее время известно 7 таких месторождений с общими запасами около 2,5 млн. т (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика лечебных грязей оз. Иссык-Куль

Название месторождений лечебных грязей	Запасы, тыс. т	Плотность	Засорение частицами 0,25 мм, % на сухую грязь	Общий сероводород	Современное использование
Чайка	7,0	1,6—1,8	1,1—1,6	0,113—0,268	Транспортировалась для внекурортного использования
Долинка	7,4	1,4—1,7	4,7	0,131—0,157	Не используется
Чолпон-Ата	26,1	1,3—1,6	1,3—2,9	0,099—0,667	Санаторий «Голубой Иссык-Куль»
Курменты	49,0	1,1—1,6	1,6—5,8	0,105—0,298	Не используется
Джергалан	700,0	1,5—1,7	1,4—3,0	0,273—1,287	Курорт Джергалан
Покровка	1500,0	1,4—1,7	1,2—3,7	0,106—0,360	Не используется
Тамга	40,0	1,4—1,7	5,9—8,2	0,003—0,157	Санаторий «Иссык-Куль»

По химическому составу и свойствам открытые месторождения удовлетворяют предъявляемым требованиям к лечебным грязям. Все они однотипны и характеризуются как иловые, материковые, сульфидные, низкоминерализованные песчанистые грязи, пластичные, имеют черный или темно-серый цвет и запах сероводорода.

Исследованиями сотрудников Киргизского НИИ курортологии и физиотерапии установлена способность иловых грязей до 6 раз (в течение 3—4 месяцев) восстанавливать свои первоначальные свойства после использования. Это значительно облегчает эксплуатацию лечебных грязей и увеличивает существующие запасы.

Иловые грязи оз. Иссык-Куль легко доступны для добычи. Основной недостаток в их эксплуатации — отсутствие реальных зон санитарной охраны, технологических схем эксплуатации и механизированной добычи, что значительно снижает их лечебный эффект.

Для сохранения и правильной эксплуатации природных богатств Иссык-Кульского курортного района первоочередными являются следующие задачи:

1. Продолжить разведочные и исследовательские работы, направленные на углубленное изучение свойств, состава, режима и

тационных запасов.

2. Продолжить изучение современных ресурсов лечебных грязей, научно обосновать рекомендации к их практическому использованию.

3. Осуществить мероприятия по поддержанию уровня воды оз. Иссык-Куль, так как падение его отрицательно отразится на состоянии лечебных грязей, лечебных пляжей, а также на температурном режиме воды в прибрежной полосе озера. Так, при понижении уровня на 3 м произойдет потеря более 2 млн. т лечебных грязей, естественные пляжи I и II категорий отодвинутся от береговой полосы на 0,5—1,0 км, а новые обнажившиеся пляжи будут более низкого качества (III—IV категории). В связи с уменьшением отмелей части прибрежной полосы можно ожидать понижения температуры воды (на 3—5°C), что повлечет за собой сокращение купального сезона до 1,0—1,5 месяцев.

4. В связи с тем что береговая зона озера в последние годы становится объектом интенсивного хозяйственного освоения бальнеологическими комплексами и зонами отдыха, гидротехническими сооружениями, охвачена мелиоративными мероприятиями, следует продолжить изучение загрязнения как озерной воды, так и всего водосборного бассейна.

5. Для охраны курортных ресурсов Иссык-Кульского курортного района необходим комплекс ограничительных мероприятий. Курортные ресурсы, в том числе и те, которые в настоящее время не используются, должны стать объектами строгого режима и охраняться от загрязнения и истощения. Это возможно осуществить при выделении округов горно-санитарной охраны, проекты которых должны быть утверждены для каждого месторождения и Иссык-Кульского курортного района в целом.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Т. П. Гронская. Обзор исследований водного баланса озера Иссык-Куль	6
В. Г. Рождественская. Восстановление рядов стока рек Иссык-Кульской котловины	10
Т. П. Гронская. Особенности расчета притока воды в озеро Иссык-Куль	16
М. И. Кривошей, Т. П. Гронская. К вопросу о расчете осадков на акваторию озера Иссык-Куль	22
А. И. Тарасов. Распределение облачности над озером Иссык-Куль и вероятность выпадения осадков из облаков нижней облачности	31
Т. П. Гронская, Т. В. Фуксова. О расчете испарения с акватории озера Иссык-Куль	38
В. В. Романовский. К вопросу о гидрографической связи озера Иссык-Куль и реки Чу в голоцене	48
М. И. Кривошей. К вопросу о причинах падения уровня озера Иссык-Куль в 1883—1974 гг.	55
Б. Л. Ярных. Аномалии в распределении температуры воды в озере Иссык-Куль	63
П. П. Куцева. Элементы баланса химических веществ озера Иссык-Куль	71
З. И. Мельникова, Н. П. Терентьева, Х. С. Малаева. Сезонное распределение органического вещества и микрофлоры воды озера Иссык-Куль в северной курортной зоне	78
Д. А. Алымкулов, З. И. Мельникова. Гидроминеральные и лечебно-грязевые ресурсы Прииссыккуля	82

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА,
ТЕРМИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА
ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Сборник статей

Редактор З. М. Кожина. Техн. редактор М. И. Брайнина. Корректор Т. Н. Черненко.
Сдано в набор 18.12.79. Подписано в печать 17.03.80. М-23302. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1.
Лит. гарн. Печать высокая. Печ. л. 6. Уч.-изд. л. 6,14. Тираж 400 экз. Индекс ГЛ-162.
Заказ № 17. Цена 75 коп. Заказное. Гидрометеиздат. 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23.
Ленинградская типография № 8 ЛПО «Техническая книга» Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.

Обзор исследований водного баланса озера Иссык-Куль. Гронская Т. П. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 6—9.

Дан анализ подхода к составлению водного баланса оз. Иссык-Куль различных авторов. На основе комплексного изучения отдельных составляющих водного баланса озера с использованием материалов экспедиционных и сетевых наблюдений представлен среднееголетний годовой водный баланс, в котором учтены безвозвратные потери воды на орошение и выделена подземная составляющая притока, учтен эффект уменьшения осадков над экваторией озера, произведен расчет испарения независимыми методами.

Табл. 1. Библ. 15.

УДК 556.048 : 681.3

Восстановление рядов стока рек Иссык-Кульской котловины. Рождественская В. Г. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 10—15.

Для уточнения притока воды из зоны формирования стока ряды наблюдений за стоком приведены к многолетнему периоду.

Приведение осуществлялось по методу множественной линейной регрессии с использованием рек-аналогов и реализовано на ЭВМ. В результате получены среднегодовые значения стока и параметры кривых обеспеченности стока рек бассейна оз. Иссык-Куль. Полученные данные указывают на отсутствие тенденции к уменьшению значения стока из зоны его формирования.

Восстановленные значения стока могут быть использованы для расчета водного баланса зоны формирования стока.

Табл. 2. Илл. 1. Библ. 3.

УДК 556.555.3

Особенности расчета притока воды в озеро Иссык-Куль. Гронская Т. П. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 16—21.

Сложность и многообразие процессов, формирующих приток воды в оз. Иссык-Куль, в частности интенсивная хозяйственная деятельность на его водосборном бассейне, вызвали необходимость расчета притока воды в озеро методом водного баланса зоны трансформации стока.

Суммарный приток в озеро определен по уравнению водного баланса зоны трансформации стока (приозерной равнины), в котором учтены: приток воды по рекам из зоны формирования стока; осадки, выпавшие на площадь зоны трансформации стока; изменение запасов грунтовых вод; испарение с орошаемых полей, рассчитанное тепловоднобалансовым методом. Испарение с богарных земель и площадей, занятых естественной растительностью, приравнивалось к осадкам, выпавшим на эти земли.

В результате проведенных исследований установлено, что недоучет потерь стока на орошение может привести к завышению притока воды в озеро на 20—25 % в засушливые годы. Доля подземного притока составляет 56 % суммарного притока воды в озеро.

Табл. 4. Илл. 1. Библ. 7.

К вопросу о расчете осадков на акваторию озера Иссык-Куль. Кривошей М. И., Гронская Т. П. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 22—30.

Для уточнения слоя осадков, выпадающих на поверхность озера, предложены эмпирические расчетные зависимости осадков от дефицита влажности воздуха по данным береговых метеостанций и от среднемесячного давления на уровне конденсации. Предлагаемые зависимости проверены по материалам наблюдений на островных метеорологических станциях на оз. Байкал и оз. Севан.

Показано, что среднегодовое количество осадков, выпадающих на акваторию оз. Иссык-Куль, на 15 % меньше осадков, выпадающих на побережье озера.

Табл. 2. Илл. 4. Библ. 7.

УДК /551.576(084.3) : 629.78/ : 556.121

Распределение облачности над озером Иссык-Куль и вероятность выпадения осадков из облаков нижней облачности. Тарасов А. И. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 31—37.

В результате обработки ТВ-снимков с ИСЗ «Метеор» (СССР) и «NOAA» (США) получены карты распределения облачности над акваторией оз. Иссык-Куль в различные сезоны года, которые подтверждают существующие представления о размыве облачных образований над акваторией крупных водоемов.

Для уточнения количества осадков, выпадающих на поверхность озера, проведен вероятностный анализ выпадения осадков из нижней облачности различных градаций по данным береговых метеостанций.

Полученные результаты могут быть использованы для уточнения элементов радиационного и водного (осадки) балансов озера.

Табл. 3. Илл. 3. Библ. 1.

УДК 556.131

О расчете испарения с акватории озера Иссык-Куль. Гронская Т. П., Фуксова Т. В. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 38—47.

Отсутствие наблюдений за испарением с поверхности оз. Иссык-Куль обусловило необходимость расчета испарения различными независимыми методами.

Экспедиционные исследования 1977—1978 гг. позволили обобщить результаты наблюдений и получить данные о средних месячных значениях метеорологических элементов и элементов радиационного баланса на акватории озера, которые были использованы для расчета испарения по различным эмпирическим формулам и методам теплового и водного балансов. Анализ и обобщение данных наблюдений на испарительной установке площадью 20 м² в районе метеостанции Пржевальск позволили выполнить расчет испарения по выведенной для установки региональной формуле.

Расчеты испарения различными методами дали близкие результаты, следовательно, для расчета годовых значений испарения может быть использован любой из перечисленных методов.

Табл. 3. Илл. 4. Библ. 7.

К вопросу о гидрографической связи озера Иссык-Куль и реки Чу в голоцене. Романовский В. В. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 48—54.

Одной из причин падения уровня оз. Иссык-Куль, возможно, является нарушение гидрографической связи озера с р. Чу.

На основе экспедиционных исследований и литературных источников показано, что еще в первой половине прошлого столетия р. Чу впадала в оз. Иссык-Куль. Причиной разобщения р. Чу с оз. Иссык-Куль могла послужить трансгрессия уровня озера, при которой протоки стали заполняться речными наносами. Во время максимума трансгрессии на высоте 1619,3 м в середине прошлого столетия р. Чу выработала новое русло, уходящее в Боомское ущелье, что явилось одной из причин катастрофического падения уровня озера. Во второй половине XIX в. из р. Чу через протоку Кутемалды в озеро сбрасывались избыточные паводочные воды. По мере того как р. Чу углубляла свое русло, уменьшался перелив в протоку Кутемалды. В 30-х годах XX в. перелив паводочных вод из р. Чу в протоку Кутемалды полностью прекратился.

Илл. 1. Библ. 11.

К вопросу о причинах падения уровня озера Иссык-Куль в 1883—1974 гг. Кривошей М. И. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 55—62.

Рассматриваются различные факторы, обуславливающие падение уровня оз. Иссык-Куль в 1883—1974 гг. Показано, что причиной падения уровня в 1946—1974 гг. являются потери воды на орошение, при отсутствии которых уровень озера повысился бы на 99 см. Приводятся данные по водному балансу озера за 1883—1945 гг., восстановленному по графикам связи составляющих водного баланса с метеорологическими элементами на метеостанции Пржевальск. Делается вывод о том, что вынос влаги за пределы котловины, обусловивший падение уровня, равен видимому испарению с орошаемых полей. Высказывается предположение о влиянии дефицита притока со стороны р. Чу на процесс падения уровня озера. При отсутствии водозабора на орошение и дефиците притока уровень озера с 1883 по 1974 г. повысился бы на 167 см.

Табл. 3. Илл. 2. Библ. 9.

Аномалии в распределении температуры воды в озере Иссык-Куль. Ярных Б. Л. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 63—70.

Для уточнения элементов теплового и водного баланса оз. Иссык-Куль сделан анализ термического режима озера по материалам ежемесячных глубоководных наблюдений за температурой воды, выполненных за период с 1964 по 1978 г.

В результате анализа обнаружены области с аномальным распределением температуры.

Для проверки гипотезы о поступлении в озеро вод с более высокой температурой из подводных источников в зонах тектонических разломов выполнены расчеты плотности и солености на разных глубинах.

В работе применен оригинальный прием определения дебита источников на дне озера по количеству добавочного тепла, поступающего в районе с аномальным распределением температуры, в отличие от тепла, поступающего в районе реперной вертикали, удаленной от источника. Примененная методика позволила сделать оценку суммарного дебита предполагаемых источников на дне оз. Иссык-Куль.

Табл. 2. Илл. 2. Библ. 9.

Элементы баланса химических веществ озера Иссык-Куль. Кущев П. П. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 71—77.

Выполнена оценка основных изменений баланса химических веществ озера. Расчет элементов баланса химических веществ озера выполнен по материалам экспедиционных работ, а также и опубликованного материала.

Баланс химических веществ водной толщи оз. Иссык-Куль учитывает количество ионов, поступающих с речными водами, атмосферными осадками, и потерю солей за счет выпадения в осадок.

Прирост или убыль общего количества ионов в водной толще озера рассчитан по водному балансу оз. Иссык-Куль.

Результаты проведенных расчетов указывают на увеличение минерализации воды оз. Иссык-Куль за последние 45 лет на 15 мг/л. Установлено, что в водной толще озера остается 30 % веществ, приносимых поверхностным стоком, а 70 % выпадает в осадок или разлагается.

Табл. 3. Библ. 10.

УДК 556.551.4/5

Сезонное распределение органического вещества и микрофлоры воды озера Иссык-Куль в северной курортной зоне. Мельникова З. И., Терентьева Н. П., Малаева Х. С. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 78—81.

В северной курортной зоне оз. Иссык-Куль выполнено исследование сезонного содержания соединений азота, фосфора и легкоокисляющих органических веществ (по биохимическому потреблению кислорода и перманганатной окисляемости) в воде озера.

Микробиологические исследования показали, что в воде прибрежной зоны оз. Иссык-Куль широко распространены денитрифицирующие и нитрифицирующие, нефтеокисляющие бактерии, сапрофиты, что указывает на большое содержание органического вещества и, вероятно, на загрязнение прибрежной полосы.

Библ. 2.

УДК 502.656(28) : 556.555

Гидроминеральные и лечебно-грязевые ресурсы Прииссыккуля. Алымкулов Д. А., Мельникова З. И. Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Сборник статей, 1980, с. 82—85.

Характеризуются богатые курортные ресурсы бассейна оз. Иссык-Куль.

По многолетним наблюдениям сотрудников Киргизского НИИ курортологии и физиотерапии для лечения в Иссык-Кульском курортном районе показаны заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистой, нервной систем и костно-мышечного аппарата.

Ставятся основные задачи по охране курортных ресурсов от загрязнения и истощения, среди которых важнейшими являются: поддержание уровня озера, утверждение и выполнение всех запретительных мероприятий в округе горно-санитарной охраны.

Табл. 2.