

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИИ
БАССЕЙНА ОЗ. ИССЫК-КУЛЬ (КЫРГЫЗСТАН)¹**

© 2019 г. Т. Асанкулов* ****, Ц. Абудувайли* **, Г. Исанова***** ***,
М. Лонг* **, Э. Дуулатов* **

*Синьцзянский институт экологии и географии АН КНР,
Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии АН КНР
Китай, 830011, Синьцзян, Урумчи, Саут Бейджин Роад, д. 818.
E-mail: agamprit@gmail.com, jilil@ms.xjb.ac.cn

**Университет Академии наук Китая
Китай, 100049, Пекин, район Шицзинишань, Юцюань Роад, д. 19(А)

***Институт геологии им. М.М. Адышева НАН РК
Республика Кыргызстан, 720040, г. Бишкек, пр-т. Эркиндик, д. 30

****Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии
Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, Бостандыкский район, пр-т Аль-Фараби, д. 75в

*****Казахский национальный университет им. Аль-Фараби,
факультет географии и природопользования
Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, пр-т Аль-Фараби, д. 71
*****Казахский национальный педагогический университет им. Абая,
Институт естествознания и географии,
Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, пр-т Достык, д. 71

Поступила в редакцию 09.02.2018. После доработки 16.04.2018. Принята к публикации 16.05.2018.

Озеро Иссык-Куль является одним из крупнейших высокогорных и солоноватых озер континентального происхождения. Оценка и анализ многолетней динамики химического состава воды его бассейна проведены, согласно данным за 1932, 1977 и 1986 гг. Средняя многолетняя динамика солености воды определялась по данным за 1928, 1960, 1980, 2000 и 2014 гг. Преобладающими ионами воды озера являются сульфаты, хлориды, натрий и магний. Из катионов преобладают Na^+ и Mg^{2+} , а из анионов – Cl^- и SO_4^{2-} . В химическом составе преобладают сульфаты, поэтому вода озера относится к сульфатному классу и хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому типу минерализации. Вода в озере обладает щелочной реакцией, и в 2015 г. ее pH находился в пределах 7.95-8.82. Соленость воды озера Иссык-Куль составляла 6.22 г/л. Изучение гидрохимии природных вод имеет огромное практическое значение для различных отраслей экономики, так как химический состав воды учитывается при употреблении природных вод для всех видов водоснабжения и водопользования. Значение гидрохимических исследований возрастает также в связи с увеличением загрязнения водоемов и антропогенной деятельности.

Ключевые слова: Иссык-Куль, озеро, гидрохимия, ион, соленость, Кыргызстан.

DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10047

Иссык-Куль – одно из крупнейших высокогорных озер континентального происхождения, оно отличается глубиной, благодаря чему вмещает огромное количество воды, большее, чем Аральское море, но при этом его особенностью является удивительная однородность воды как по акватории, так и по глубине, на что указывает относительное постоянство удельного веса, солености и химического состава (Кадыров, 1986).

Водные ресурсы бассейна озера Иссык-Куль представлены самим бессточным озером,

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке National Natural Science Foundation of China (U1603242; 41471173) и Science and Technology Service Network Initiative (Y838031).

многочисленными впадающими в него реками и подземными водами. Природные воды представляют собой динамичную химическую систему, содержащую в своем составе сложный комплекс газов, минеральных и органических веществ в виде растворов, а также взвесей и коллоидов. Эта система зависит не только от условий окружающей среды, но и от различных процессов, протекающих как вне, так и непосредственно внутри водного объекта. Знание химического состава воды имеет огромное практическое значение для развития различных отраслей экономики, химический состав необходимо учитывать при использовании природных вод для всех видов водоснабжения и водопользования (питьевого, хозяйственно-бытового, промышленного, сельскохозяйственного, транспортного). Изучение качественного и количественного химического состава природных вод (гидрохимии) позволяет определить возможность их практического применения для повышения продуктивности организмов. Значение гидрохимических исследований возрастает также в связи с увеличением загрязнения водоемов и антропогенной деятельностью.

Изучения условий, в которых формируется химический состав воды в бассейне озера Иссык-Куль, проводились многими учеными и исследователями, такими как К. Шмидт (1882), В.П. Матвеев (1930), В.К. Кадыров (1986). Однако результаты гидрохимических исследований отличались друг от друга. Также были изучены качества использования воды озера и рек бассейна Иссык-Куль такими исследователями, как Y. Kawabata с соавторами (2014), В. Alymkulova с соавторами (2016), S. Abdyzhapap с соавторами (2015). В обзоре гидрохимических исследований бассейна озера Иссык-Куль необходимо отметить крайнюю недостаточность и ограниченность работ, проводившихся ранее в этом направлении.

Целью данного исследования является оценка и анализ основных изменений химического состава воды озера и рек и солености озера, а также современное состояние водных ресурсов бассейна Иссык-Куль.

Район исследования

Иссык-Куль – бессточное озеро на Северном Тянь-Шане в северо-восточной части Кыргызстана, одно из крупнейших горных озер мира. Расположено на высоте 1608 м н.у.м. БС в межгорной Иссык-Кульской котловине между хребтом Кунгей-Ала-Тоо на севере и хребтом Терской-Ала-Тоо на юге (рис. 1). Озеро имеет тектоническое происхождение и образовалось вследствие разломов, сбросов и прогибов земной поверхности; его обширная часть опустилась и заполнилась водой, в то время как соседние участки поднялись на 3000-3500 м над уровнем озера. Площадь – 6236 км², длина – 178 км, наибольшая ширина – 60 км, глубина – до 668 м, средняя глубина – 278 м, объем – 1738 км³. В Иссык-Куль впадает свыше 50 рек, общий годовой сток которых превышает 3 км³. Наиболее крупные реки – это Джергалан (средний годовой расход воды в устье – 22 м³/сек) и Тюп. Площадь бассейна Иссык-Куль составляет около 21900 км² (Забилов, 1963; Asyukulov, 2002).

Климат Иссык-Куля континентальный. На него влияют рельеф, значительная высота над уровнем моря, большой объем воды озера и его площадь. Постоянное испарение с водной поверхности создает повышенную влажность воздуха в прибрежной зоне. Средняя температура воздуха в январе варьирует от +2 до -3°C. Лето на побережье Иссык-Куля умеренно-теплое. Средняя температура в июле и августе – около 16-17°C. В высокогорной части котловины средняя температура в январе падает до -8-10°C.

Распределение осадков по Иссык-Кульской котловине неравномерно вследствие общей циркуляции атмосферы и возникновения нисходящих течений воздуха на западе и восходящих на востоке. На западном побережье озера выпадает всего 115 мм (Гронская, 1983; Heinicke, 2003; Taft et al., 2011), по направлению с запада на восток их количество возрастает. Осадки выпадают преимущественно в теплый период года. На май-август приходится 50% от их годовой суммы, на декабрь-февраль – 10%. В западной части максимум осадков наблюдается в июне-июле, минимум – с декабря по февраль. Среднемесячные величины относительной влажности воздуха западного и южного побережья составляют 54-64%, северного – 62-73%, склонов котловины – 60-74%.

Материалы и методы

Многолетняя и средняя динамика химического состава воды бассейна озера Иссык-Куль определена по данным за 1932, 1977 и 1986 гг. Эти данные были обеспечены Управлением экологического мониторинга государственного агентства охраны окружающей среды и лесного

хозяйства при правительстве Кыргызской Республики, Институт водных проблем. Кроме того, в данной работе использованы результаты исследований химического состава воды, проведенных в 2014 году Институтом экологии и географии (Синьцзян, Урумчи).

Для гидрохимической характеристики рек (притоков озера) и побережья озера использованы результаты анализов за 1986 и 2014 гг. Сезонная динамика изменения минерализации вод рек определялась, согласно данным за 1986 г. Средняя многолетняя соленость воды – по данным за 1928, 1960, 1980, 2000 и 2014 гг. Для детального отображения гидрологической сети бассейна Иссык-Куль использовалось программное обеспечение Arc Map.

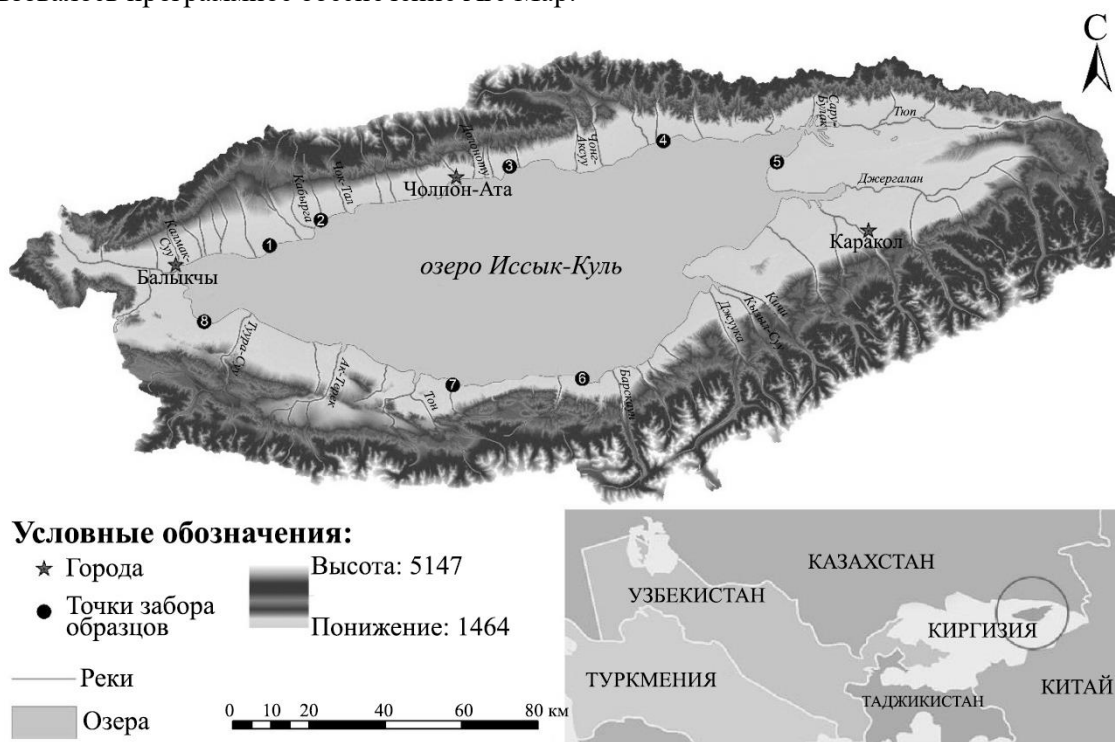


Рис. 1. Район исследования – Бассейн оз. Иссык-Куль.

Результаты и обсуждение

Химический состав воды озера. Анализирован средний многолетний химический состав воды открытой части озера Иссык-Куль (рис. 2а). Согласно результатам исследования, озеро относится к солоноватым водоемам. Соленость воды составляет 6.22 г/л, и, таким образом, является самым большим соленым озером Земли: соленость Каспийского моря достигает 13 г/л, Аральского – 12.5 г/л, восточной части озера Балхаш – 5.2 г/л, Мирового океана – 35.1 г/л (Романовский и др., 2014).

В местных водах в больших количествах содержатся сульфаты и хлориды (рис. 2а). Вода относится к сульфатному классу, сульфаты слегка преобладают над хлоридами. Вода открытой части озера характеризуется равномерным распределением главных ионов как по акватории, так и глубине, что является одной из отличительных гидрохимических особенностей озера, а также признаком хорошей вертикальной и горизонтальной циркуляции воды, постоянно действующими разнонаправленными ветрами, бессточностью озера, малой величиной речного стока относительно объема водной массы и других факторов.

Это отличает Иссык-Куль от других крупных водоемов. Они распределены более или менее равномерны. В результате того, что активность концентрация ионов уменьшается, концентрация сульфата становится выше.

Содержание ионов показывает, что при различных величинах минерализации в прибрежных зонах и заливах из катионов преобладают Na^+ и Mg^{2+} , из анионов – Cl^- и SO_4^{2-} (рис. 2в), pH воды варьировал от 8.69 до 8.75 (Кадыров, 1986). Вода в озере обладает щелочной реакцией, в 2015 году pH находился в пределах 7.95-8.82. Величина общей щелочности обусловлена главным образом содержанием HCO_3^- и частично – ионов CO_3^{2-} . Концентрация других ионов, влияющих на щелочность

воды (H_2BO_3 , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HSiO_3), очень мала (Кадыров, 1986). Концентрация HCO_3^- и CO_3^{2-} зависит от величины минерализации воды и CO_2 .

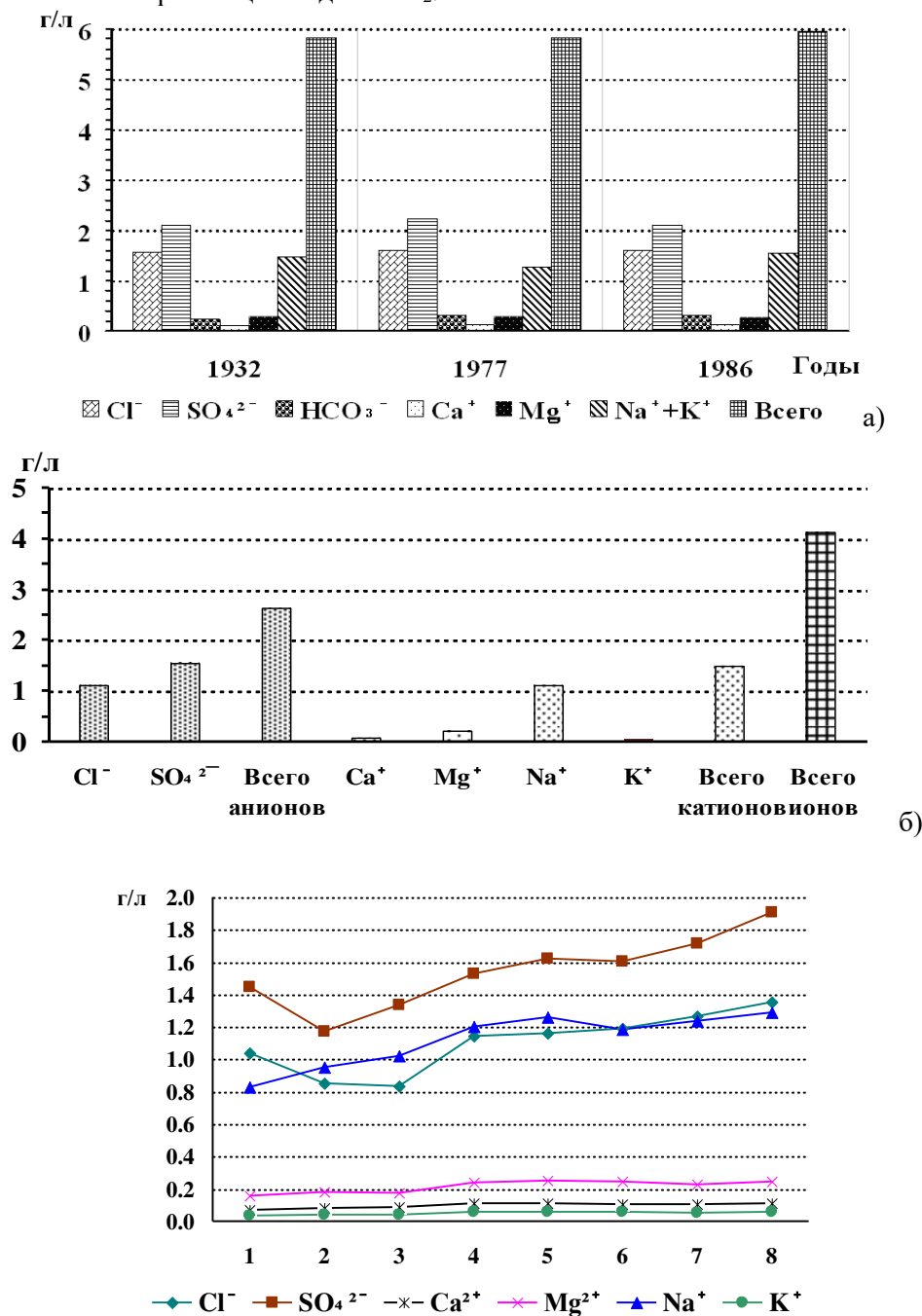


Рис. 2. Средний многолетний химический состав воды озера (а), химический состав воды побережья озера (б), среднее значение химических элементов в воде озера в 2014 году (в).

Содержание главных ионов натрия и калия в водах озера в 1986 году немного повысилось по сравнению с 1932 годом. Незначительное изменение содержания ионов хлора, сульфата и других, а также минерализации как по акватории, так и глубине в открытой части озера указывает на наличие хорошего водообмена между его отдельными участками и на распространение вертикальной циркуляции водных масс до самого дна.

Гидрохимия побережья. Химический состав воды прибрежной зоны озера неоднороден (рис. 2б). Обособленность некоторых зон – своеобразный водный и термический режим, а также совокупность физико-географических и гидрологических факторов влияют на химический состав воды. На

по бережьях в озера впадают реки, которые несут большое количество взвешенных наносов. Вследствие этого величина минерализации заметно уменьшается. Таким образом, минерализация воды в заливе и побережье от устья реки в сторону открытой части озера постепенно возрастает. То есть в бережьях озера минерализация воды ниже, чем в открытой части озера. Например, химический состав воды в открытой части озера составляет: Cl^- – 1.5 г/л, SO_4^{2-} – 2.1 г/л, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 1.5 г/л, тогда как у побережья Cl^- – 1.1 г/л, SO_4^{2-} – 1.5 г/л, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 1.2 г/л.

Величина минерализации северного побережья (2.3 точки) ниже, чем у других заливов и побережий, минерализация близка к открытой части озера (рис. 2б). Однако восточные и южные побережья характеризуются высокой минерализацией. Это связано с развитием земледелия (прежде всего с сельскохозяйственной мелиорацией в прибрежной зоне) и поступлением в озера подземных вод с высоким содержанием хлоридных, сульфатных и натриевых ионов (Куцева, 1980).

Для воды прибрежной зоны средние величины хлорных коэффициентов всегда больше, чем в открытой части озера, особенно для ионов кальция и гидрокарбонатов, содержание которых резко понижается с повышением минерализации воды, что свидетельствует о влиянии речных вод. Увеличение концентрации Ca^{2+} и Cl^- в прибрежной зоне объясняется разбавлением озерной воды речными водами (Кадыров, 1986). Хотя влияние речного стока не нарушает порядок ионных соотношений воды заливов, везде сохраняется один и тот же тип – хлоридно-сульфатно-натриевый.

Химический состав воды рек. На химический состав речных вод бассейна оз. Иссык-Куль влияет низкая температура воздуха и воды, обилие атмосферных осадков, промытости почвенного покрова от легкорастворимых солей, различные типы питания рек и широкое распространение кристаллических пород (Кадыров, 1986). Эти воды имеют различную минерализацию, что обусловлено своеобразием физико-географических условий отдельных бассейнов и различием в степени увлажненности территории (годовое количество осадков увеличивается с запада на восток). Степень опреснения и минерализация озерной воды зависит от наличия и величины речного стока, от их морфологических особенностей и обмена воды с открытой частью озера (Кадыров, 1986).

Реки бассейна представляют собой типичные высокогорные водотоки. Непосредственно в озеро выпадает около 56 рек и ручьев. По распределению внутригодового стока большинство Иссык-Кульских рек классифицируется как реки ледниково-снегового питания с максимальным половодьем в июле. В западной части бассейна речная сеть развита слабо, в средней и восточной части она более густая, реки многоводнее (рис. 1). Самая крупная река – Джыргалан. Вторая по величине – Тюп.

Анализирован средний химический состав воды притоков озера Иссык-Куль. В гидрохимическом отношении реки бассейна рассматриваются по отдельным районам, что связано с различием природных факторов, влияющих на формирование химического состава воды. Северными притоками озера являются реки от Кабырги до Сары-Булака, река Чон-Ак-Суу – самая крупная в этом районе. Наибольшей минерализацией северных притоков озера характеризуется вода р. Четки-Долоноту, наименьшей – р. Орто-Кой-Суу (рис. 3а). В химическом составе воды рек преобладает кальций, а концентрация остальных ионов небольшая.

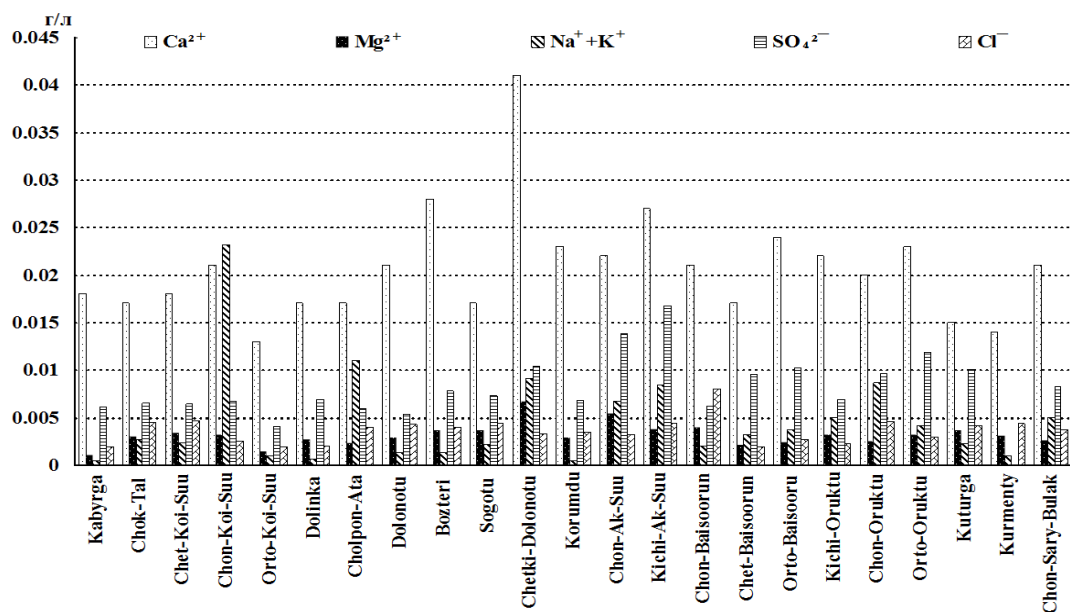
Среди южных притоков наибольшая минерализация у рек Ак-Терек, Ак-Сай, Кичи-Жаргылчак и Сары-Булак (рис. 3б). Реки Жуука, Ак-Терек и Барскоон являются самыми крупными реками южного притока озера. Химический состав воды представлен в основном ионами кальция. Концентрация остальных ионов мала. В отдельных случаях в различные сезоны года ионизация меняется.

Минерализация западных притоков озера повышена по сравнению с реками северных и южных притоков. Это связано с засушливым климатом в данном районе бассейна. Наиболее минерализованной является вода р. Туура-Суу, а наименее – р. Талды-Булак (рис. 3г).

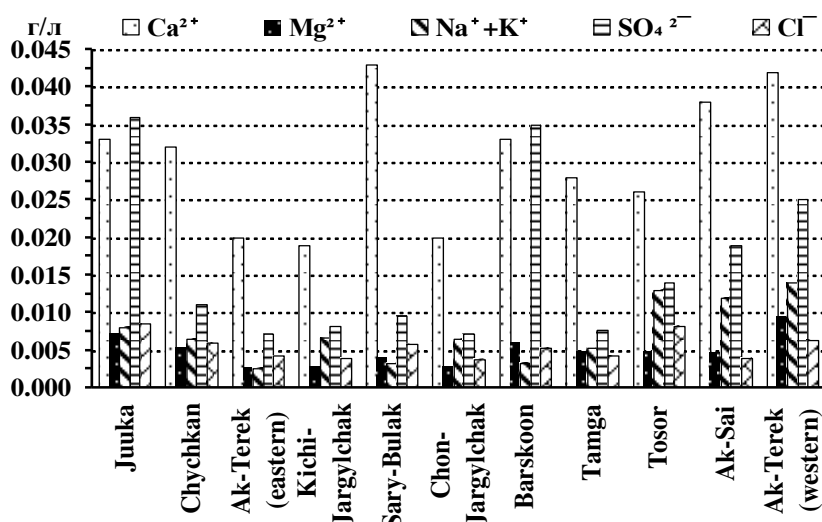
Химический состав воды восточных притоков гораздо выше, чем других районов озера (рис. 3в). В восточном районе сосредоточены наиболее крупные реки бассейна озера Иссык-Куль от р. Тюпа до р. Кичи-Кызыл-Суу. Минерализация и содержание главных ионов воды рек различны. Однако в химическом составе воды рек преобладают Ca^{2+} и SO_4^{2-} (рис. 3).

Наибольшую концентрацию ионов имеют реки Ак-Суу, Джыргалан, Джуука, Чон-Жаргылчак и Тюп, в них содержание SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , выше, чем в других реках (рис. 3е).

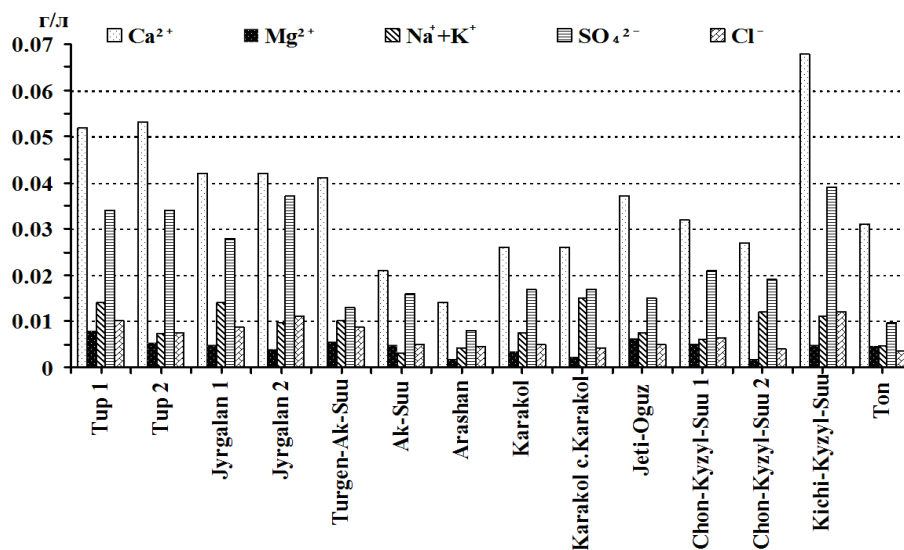
Воды этих рек характеризуются повышенной минерализацией по сравнению с другими реками, что, по-видимому, обусловлено большой протяженностью рек в этих районах котловины и их протеканием по осадочным породам, также велика роль грунтовых вод. Кроме того, в этих районах развито орошаемое сельское хозяйство. Орошение в области ухудшается из года в год.



a)

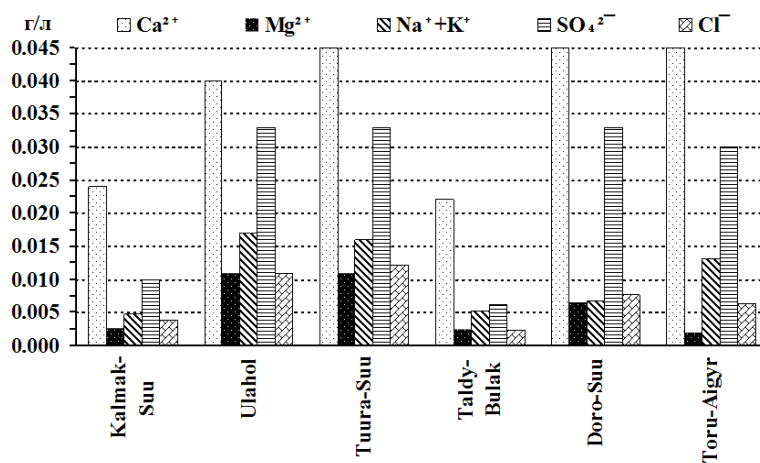


б)

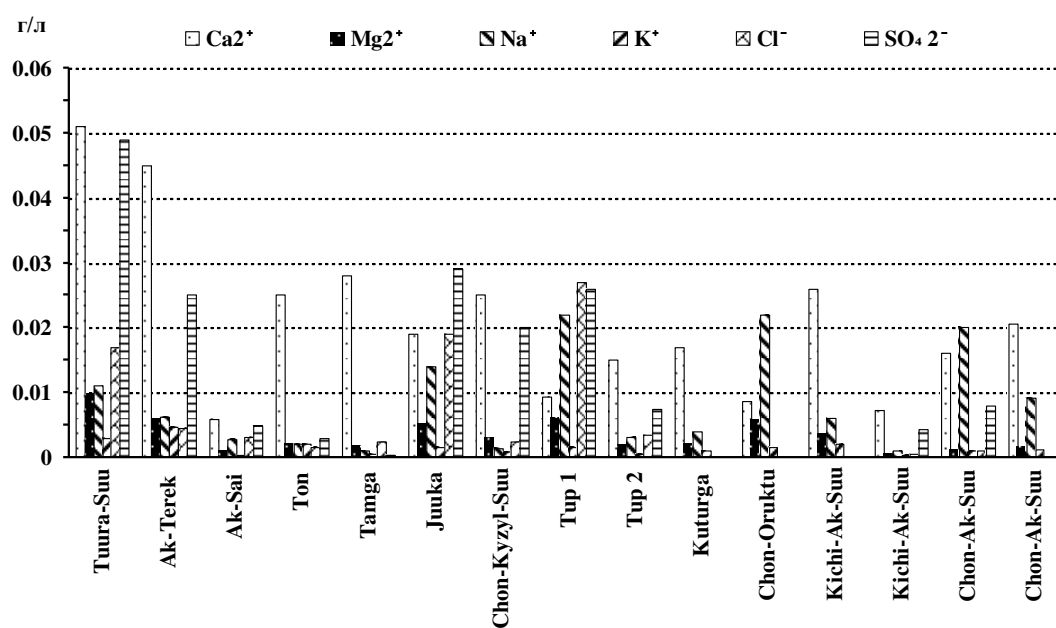


в)

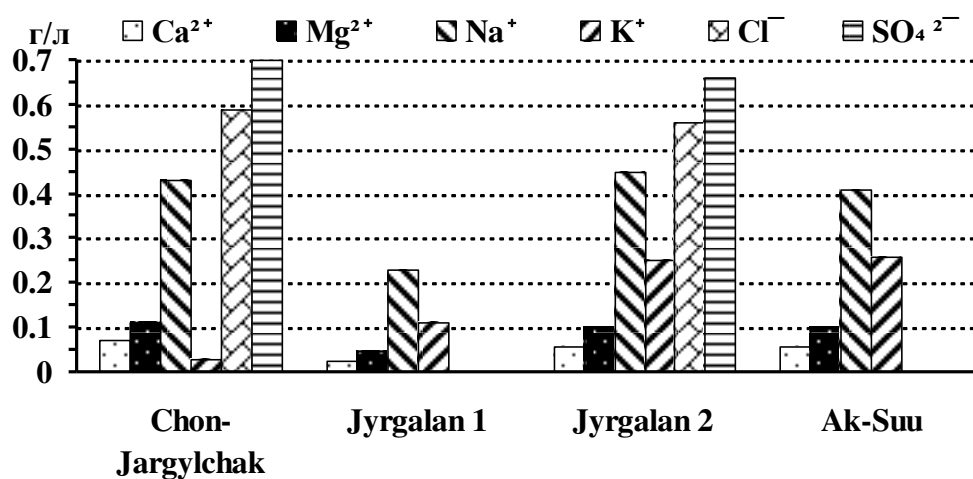
Рис. 3 а, б, в. Средний химический состав воды озера Иссык-Куль и химический состав воды рек (2014): а) северные притоки, б) южные притоки, в) восточные притоки.



г)



д)



е)

Рис. 3 г, д, е. Средний химический состав воды озера Иссык-Куль и химический состав воды рек (2014): г) западные притоки, д) химический состав воды рек, е) химический состав воды рек.

Основным причинами ухудшения ирригации орошаемых земель являются недостаточная естественная дренированность территории, изначальное отсутствие или разрушение коллекторно-дренажной сети, ненормированный режим орошения, что обусловило повышение уровня грунтовых вод и увеличение минерализации воды. Увеличение количества сульфата, хлорида и натрия происходит из-за поступления в русла реки возвратных вод с орошаемых земель.

Результаты анализов 2014 г. показывают, что в водах отдельных рек (Туура-Суу, Кичи Кызылсуу, Тюп, Ак-Терек) превышены концентрации сульфатов, хлоридов, натрия. Минерализация и содержание главных ионов различны. Воды восточных, южных и западных притоков характеризуются повышенной минерализацией по сравнению с северными водами (рис. 3д).

По данным 2014 г., реакция вод в реках бассейна нейтральная слабощелочная и щелочная. Величина pH составляет от 7 до 8.50. Вода рек бассейна мягкая и умеренно жесткая. Величина жесткости речных вод бассейна подвержена сезонным изменениям. Наименьшей она бывает в период половодья, наибольшей – в межень. В химическом составе воды отдельных рек преобладают Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ и Mg^{2+} . Минерализация воды рек в течение года изменяется в определенной последовательности.

Сезонная динамика изменения минерализации вод рек и солености воды озера. На основе полученных за многолетний период аналитических данных рассчитана средняя величина минерализации всех рек по сезонам года. Минерализация воды в течение года изменяется в определенной последовательности. Так, несколько повышенная минерализация наблюдается весной. Летом она наименьшая в связи с таянием ледников, снега и наступлением паводков. В период половодья наблюдаются наименьшие величины минерализации и концентрации главных ионов. Осенью и зимой на реках наблюдается минимальный водный сток, формируемый в основном за счет минерализованных подземных вод (рис. 4а). В период минимальных расходов наблюдается резкое увеличение минерализации и главных ионов.

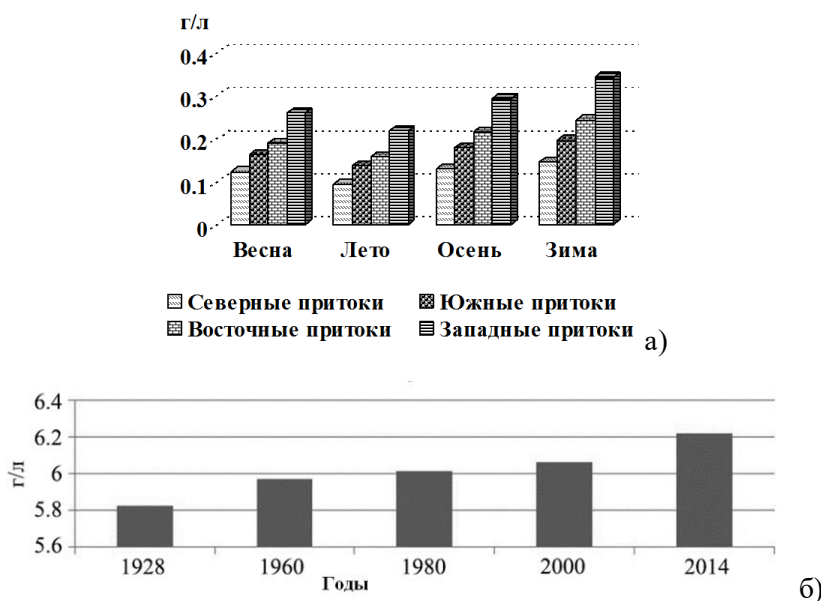


Рис. 4. Сезонная динамика изменения минерализации вод рек (а) и изменение солености воды озера с 1928 по 2014 гг. (б).

Солевой баланс озера формируется солями, поступающими с речным стоком, атмосферными осадками, подземными водами, которые в результате выпадают в осадок. Основное количество солей поступает в озеро с подземными водами – 72%, с речными водами – 22%, с атмосферными осадками – 6% (Романовский и др., 2014). На пополнение солевого запаса озера идет половина поступающих солей (49.8%). Оставшаяся часть (50.2%) выпадает в осадок.

Содержание в воде всех растворенных веществ, а не только солей, называется соленостью. Соленость воды озера с 1928 по 2014 гг. увеличилась с 5.82 до 6.22 г/л соответственно (рис. 4б). Увеличение солености воды в озере определяется тем, что приходная часть водного баланса

значительно меньше расходной – испарения. При испарении вынос солей в озере незначителен, происходит накопление солей, выражающееся в увеличении величины минерализации воды.

Выводы

Изменение химического состава природных вод зависит от времени, химических, физических и биологических процессов и антропогенных факторов (интенсивный туризм, сельское хозяйство). Озеро Иссык-Куль является солоноватым, соленость воды составляет 6.22 г/л. Преобладают в воде сульфаты, хлориды, натрия и магний, причем сульфаты преобладают над хлоридами, что является особенностью континентального происхождения солевого состава озера, питаемого высокогорными реками. Из катионов преобладают ионы натрия и магния. Таким образом, вода в озере относится к хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому типу. Помимо прочего у озера щелочная реакция, pH находится в пределах 7.95-8.82. Гидрохимия побережья неоднородна, что связано с его физико-географическими и гидрологическими особенностями, водным и термическим режимами. Минерализация воды у побережий, особенно восточного и южного, ниже, чем в открытой части озера. Это происходит за счет взвешенных наносов, в большом количестве приносимых реками, а также из-за развития земледелия и поступления в озеро подземных вод с высоким содержанием хлоридных, сульфатных и натриевых ионов.

Установлено, что формирование химического состава воды рек бассейна Иссык-Куль подчинено вертикальной поясности, причем их гидрохимический режим зависит от изменения водного режима. Западные притоки минерализованы гораздо выше по сравнению с северными и южными, что связано с засушливым климатом в данном районе бассейна. Химический состав воды восточных притоков гораздо выше, чем в других притоках. Наибольшую концентрацию ионов имеют реки Ак-Суу, Джыргалан, Джуука, Чон-Жаргылчак и Тюп. Это обусловлено тем, что почти все они реки имеют большую протяженность и протекают по осадочным породам. Кроме того, в этих районах развито орошаемое сельское хозяйство. В химическом составе воды рек преобладают Ca^{2+} и SO_4^{2-} , а концентрация остальных ионов небольшая.

Минерализация воды рек в течение года изменяется в определенной последовательности: осенью и зимой наблюдается ее резкое увеличение за счет минимального водного стока; а летом – уменьшение из-за таяния ледников, снега и наступления паводков; весной минерализация несколько повышается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Асыкулов Т. 2002. Социально-экономическая и природная среда восточного Кыргызстана и проблемы развития. Диссертация на соискание ученой степени PhD. Грайфсвальдский университет, Германия. 123 с.
- Гронская Т.П. 1983. Водная баланс и ожидаемые уровни воды озера Иссык-Куль // Диссертация Государственного гидрологического института. Ленинград. 190 с.
- Забиров Р.Д. 1963. Иссык-Куль. Академия наук Киргизской ССР. Фрунзе. С. 55.
- Кадыров В.К. 1986. Гидрохимия озера Иссык-Куль и его бассейна. Фрунзе. 211 с.
- Куцева П.П. 1980. Элементы баланса химических веществ озера Иссык-Куль // Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Ленинград: Гидрометеиздат. С. 71-78.
- Матвеев В.П. 1930. Гидрологические и гидрохимические исследования на Иссык-Куле в 1928 г. // Материалы Комиссии экспедиционных исследований Академии наук СССР. Иссык-Кульская экспедиция 1928 года. Ленинград. С. 71-110.
- Романовский В.В., Маматканов Д.М., Кузьмиченок В.А., Подрезов О.А. 2014. Все об озере Иссык-Куль. Бишкек. 406 с.
- Шмидт К. 1882. Исследования воды озера Иссык-Куль // Фармацевт. С. 878-884.
- Abdyzhapar uulu S., Abuduwaili J., Shaidyldaeva N. 2015. Impact of Climate Change on Water Level Fluctuation of Issyk-Kul Lake // Arabian Journal of Geosciences. Vol. 8. P. 5361-5371. DOI: 10.1007/s12517-014-1516-6
- Alymkulova B., Abuduwaili J., Issanova G., Nahayo L. 2016. Consideration of Water Uses for Its Sustainable Management, the Case of Issyk-Kul Lake, Kyrgyzstan // Water Open Access Journal. 9 p.
- Heinicke T. 2003. Mires within the Dry Steppe Zone of the Issyk-Kul Basin (Kyrgyzstan). Part 1: Soils, Stratigraphy and Hydrology. Telma. P. 35-58.
- Taft B.J., Philippe L.R., Dietrich C.H., Robertson K.R. 2011. Grassland Composition, Structure, and Diversity Patterns along Major Environmental Gradients in the Central Tien Shan // Plant Ecology. P. 1349-1361. DOI: 10.1007/s11258-011-9911-5.
- Kawabata Y., Kurita T., Nagai M., Aparin V., Onwona-Agyeman S., Yamada M., Fujii Y., Katayama Y. 2014. Water Quality in the Issyk-Kul and the River Flowing into It // Journal of Arid Land Studies. No. 24 (1). P. 105-108.