

**Исанова Г.<sup>1,2</sup>, Асанкулов Т.<sup>3</sup>, Темирбаева К.<sup>4\*</sup>**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup> ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup> Синьцзянский институт экологии и географии АН КНР, Синьцзян, Китай

<sup>4</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, Казахстан, г. Алматы, e-mail: kamshat.temirbayeva@gmail.com

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГИДРОХИМИИ  
ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ**

Озеро Иссык-Куль является одним из крупнейших высокогорных и солоноватых озер континентального происхождения. Оценка и анализ многолетней динамики химического состава воды бассейна озера Иссык-Куль проведена согласно данным за 1932 г., 1977 г. и 1986 г. И средняя многолетняя динамика солености воды озера определялась по данным за 1928 г., 1960 г., 1980 г., 2000 г. и 2014 г. Преобладающими ионами воды озера являются сульфаты, хлориды, натрий и магний. Из катионов преобладают  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^+$ , и из анионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . В химическом составе воды сульфаты преобладают, и вода озера относится к сульфатному классу и к хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому типу минерализации. Вода в озере обладает щелочной реакцией и рН воды озера находился в пределах 7,95–8,82 в 2015 г. Соленость воды озера Иссык-Куль составлял 6,22 г/л. Изучение гидрохимии природных вод имеет огромное практическое значение в различных отраслей экономики. Так как химический состав воды учитывается при использовании природных вод для всех видов водоснабжения и водопользования. Значение гидрохимических исследований возрастает и в связи с увеличением загрязнения водоемов и антропогенной деятельности.

**Ключевые слова:** озеро Иссык-Куль, соленость, ион, химический состав, гидрохимия.

Issanova G.<sup>1,2</sup>, Asankulov T.<sup>3</sup>, Temirbayeva K.<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Research Centre of Ecology and Environment of Central Asia, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup> U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Kazakhstan, Almaty

<sup>3</sup> Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Xinjiang, China

<sup>4</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Kazakhstan, Almaty, e-mail: kamshat.temirbayeva@gmail.com

**Long-term dynamics of hydrochemistry of the Issyk-Kul Lake**

The Issyk-Kul Lake is one of the largest highland and brackish lakes in continental origin. Assessment and analysis of the long-term dynamics on the chemical composition of the water in the Issyk-Kul Lake basin was carried out according to the data for 1932, 1977 and 1986. The average long-term dynamics of lake water salinity was determined from the data for 1928, 1960, 1980, 2000 and 2014. Sulfates, chlorides, sodium and magnesium are the predominant ions of lake water.  $\text{Na}^+$  and  $\text{Mg}^+$  predominate from the cations, and from the anions  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ . The sulfates predominate in the chemical composition of water, and the lake water belongs to the sulfate class and to the chloride-sulphate-sodium-magnesium type of mineralization. The water in the lake has an alkaline reaction and the pH of the lake water was within 7.95–8.82 in 2015. The salinity of the Issyk-Kul lake was 6.22 g/l. The study of the hydrochemistry of natural waters is of great practical importance in various branches of the economy. Since the chemical composition of water is taken into account when using natural waters for all types of water supply and

water use. The importance of hydrochemical research is also increasing due to pollution of water bodies and anthropogenic activities.

**Key words:** Issyk-Kul Lake, salinity, ion, chemical composition, hydrochemistry.

Исанова Г.<sup>1,2</sup>, Асанқұлов Т.<sup>3</sup>, Темірбаева К.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Орталық Азия экология және қоршаған орта ғылыми-зерттеу орталығы, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>3</sup>Шынжаң экология және география институты Қытай ғылым академиясы, Шинжаң, Қытай

<sup>4</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, География және табиғатты пайдалану факультеті, Қазақстан, Алматы қ., e-mail: kamshat.temirbayeva@gmail.com

### Ыстықкөл көлінің гидрохимиясының көп жылдық динамикасы

Ыстықкөл көлі ең ірі таулы және құрлықтық тұзды көлдердің бірі болып есептеледі. Ыстықкөл көлінің бассейнінің суының химиялық құрамының көп жылдық динамикасын бағалау және талдау 1932 ж., 1977 ж. және 1986 ж. мәліметтер бойынша жүзеге асырылады. Көл суының тұздылығы орташа көп жылдық динамикасы 1928 ж., 1960 ж., 1980 ж., 2000 ж. және 2014 ж. мәліметтер негізінде анықталды. Көл суында сульфаттар, хлоридтер, натрий және магний иондары басым.  $\text{Na}^+$  және  $\text{Mg}^+$  катиондары және  $\text{Cl}^-$  және  $\text{SO}_4^{2-}$  аниондары басым. Судың химиялық құрамы бойынша сульфаттар көбірек және көл суы минерализацияның сульфатты класына және хлоридті-сульфатты-натрийлі-магнийлі типіне жатады. Көл суы сілтілік реакцияға ие және 2015 ж. рН 7,95–8,82 аралықта болған. Ыстықкөл көлінің тұздылығы 6.22 г/л тең. Табиғи сулардың гидрохимиясын зерттеудің экономиканың түрлі салаларында практикалық маңызға ие. Өйткені сумен қамтамасыз ету және суды пайдаланудың әр салаларында табиғи суларды пайдаланған кезде судың химиялық құрамы есепке алынады. Су объектілерінің ластануы және антропогендік факторлардың өсуіне байланысты гидрохимиялық зерттеулердің де маңыздылығы арта түсуде.

**Түйін сөздер:** Ыстықкөл, тұздану, ион, химиялық құрам, гидрохимия.

### Введение

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

Водные ресурсы бассейна озера Иссык-Куль представлены самим бессточным озером, 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, которая зависит не только от условий окружающей среды, но и от различных процессов, протекающих как вне, так и непосредственно в водном объекте. 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 ее практического применения с целью повышения уровня продуктивности организмов. Значение гидрохимических исследований возрастает и в связи с увеличением загрязнения водоемов и антропогенной деятельности.

Исследования по изучению условий формирования химического состава воды бассейна озера Иссык-Куль проводились многими учеными и исследователями Шмидт (1882), Матвеев (1928; 1932, 1935), Берг (1930) Кадыров, (1986). Кроме того, изучалось качество и использование воды озера и бассейна озера Иссык-Куль (Kawabata et al., 2014; Alymkulova et al., 2016). Однако, результаты гидрохимических исследований отличались друг от друга. В обзоре гидрохимических исследований бассейна озера Иссык-Куль, необходимо отметить крайнюю недостаточность и ограниченность проводившихся ранее работ в этом направлении.

**Целью данного исследования** является оценка и анализ основных изменений многолетнего химического состава воды озера Иссык-Куль.

## Объект 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 в межгорной Иссык-Кульской котловине между хребтом Кунгей-Ала-Тоо на севере и хребтом Терскей-Ала-Тоо на юге (Рис.1). Озеро Иссык-Куль тектонического происхождения, образовалось вследствие разломов, сбросов и прогибов земной поверхности; обширная часть ее опустилась и заполнилась водой, в то время как соседние участки поднялись на 3000–3500 м над уровнем озера. Площадь 6236 км<sup>2</sup>, длина 178 км, наибольшая ширина 60 км, глубина до 668 м, средняя глубина 278 м, объем воды 1738 км<sup>3</sup> (Маматканов и др, 2006). В Иссык-Куль впадает свыше 50 рек, общий годовой сток которых превышает 3 км<sup>3</sup>. Наиболее крупные реки Джергалан (средний годовой расход воды в устье 22 м<sup>3</sup>/сек) и Тюп (Рис.1). Площадь бассейна Иссык-Куль около 21900 тыс. км<sup>2</sup> (Забиров, 1963; Конурбаев, 1998; Асыкулов, 2002; Романовский и др, 2014).

**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 +2-3 °С. Лето на побережье Иссык-Куля умеренно-теплое. Средняя температура в июле и августе около 16 – 17 °С. В высокогорной части котловины средняя температура в январе – 8 -10 °С.

Распределение осадков по Иссык-Кульской котловине неравномерное вследствие общей циркуляции атмосферы и возникновения нисходящих течений воздуха на западе и восходящих – на востоке. На западном побережье озера выпадает всего 115 мм осадков (Gronskaya 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, июнь, июль и август приходится 50% их годовой суммы, на декабрь, январь, февраль – 10%. В западной части котловины максимум осадков наблюдается в июне и 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 г, 1977 г и 1986 г. Данные за 1932 г, 1977, 1986 гг были обеспечены Управлением экологического мониторинга государственного агентства охраны окружающей среды и лесного хозяйства при правительстве Кыргызской Республики. Кроме того, в данной работе использованы результаты исследования химического состава воды бассейна озера Иссык-Куль проведенных в 2014 г. Синьцзянским институтом Экологии и Географии АН КНР. И средняя многолетняя динамика солености воды озера определялась по данным за 1928, 1960, 1980, 2000 и 2014 г.

## Результаты и обсуждения

### *Химический состав воды озера*

Анализирован средний многолетний химический состав воды открытой части озера Иссык-Куль (Рис.2). Согласно результатам исследования озера относится к солоноватым водоемам. Соленость воды озера Иссык-Куль составляют 6,22 г/л. Самым большим соленым озером Земли Каспийского море соленость составляют до 13 г/л, Аральское море 12,5, восточной части озера Балхаш 5,2 г/л, Мировой океан 35,1 г/л (Романовский и др. 2014).

В воде озера сульфаты и хлориды содержатся в больших количествах (Рис.2). Вода озера 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 и хорошей вертикальной и горизонтальной циркуляцией воды, постоянно действующими разнонаправленными ветрами, бессточностью озера, малой величиной речного стока относительно объема водной массы и другими факторами. Это отличает Иссык-Куль от других крупных водоемов. Они распределены более или менее равномерны. Содержание ионов показывают, что при различных величинах минерализации в прибрежных зонах и заливах из катионов преобладают Na<sup>+</sup> и Mg<sup>+</sup>, из анионов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и рН воды варьировался от 8,69 до 8,75 (Кадыров, 1986). Вода в озере обладает щелочной реакцией, а в 2015 г рН воды находился в пределах 7,95-8,82. Величина общей щелочности обусловлена главным обра-

зом содержанием  $\text{HCO}_3^-$  и частично  $\text{CO}_3^{2-}$  ионов. Концентрация других ионов, влияющих на щелочность воды ( $\text{H}_2\text{BO}_3$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HSiO}_3$ ), очень мала (Кадыров, 1986; Куцева, 1980). Концентрация  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  ионов зависит от величины минерализации воды и  $\text{CO}_2$ . Содержание главных ионов натрия и калия в водах озера по сравнению с 1932, в 1986 г. немного повыси-

лось. Однако, незначительное изменение содержания ионов хлора, сульфата и других ионов, а также минерализации как по акватории, так и глубине в открытой части озера указывает на наличие хорошего водообмена между его отдельными участками и распространение вертикальной циркуляции водных масс до самого дна.

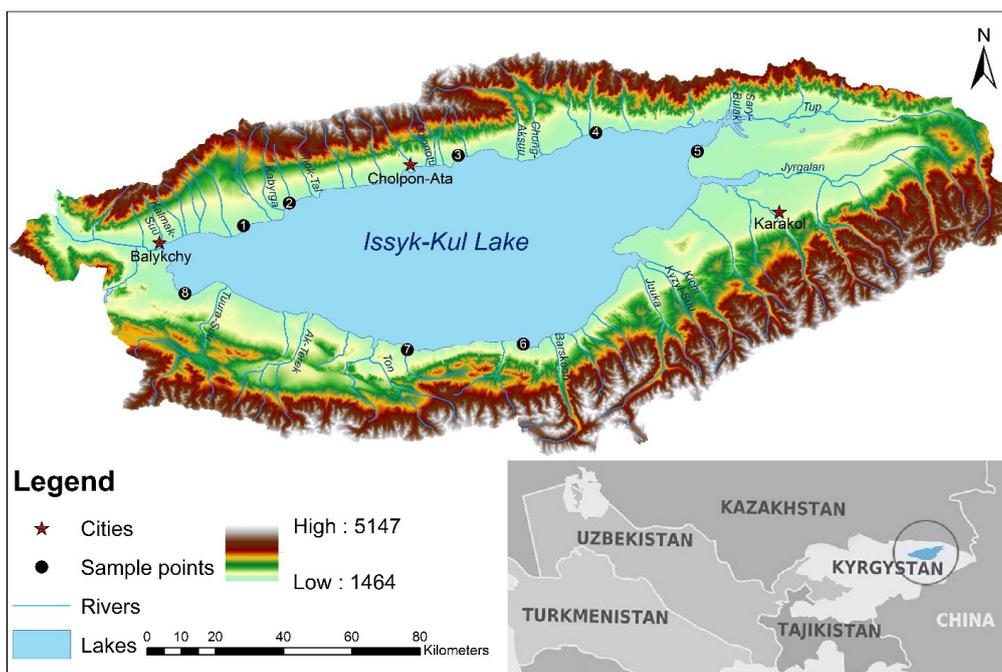


Рисунок 1 – Объект исследования

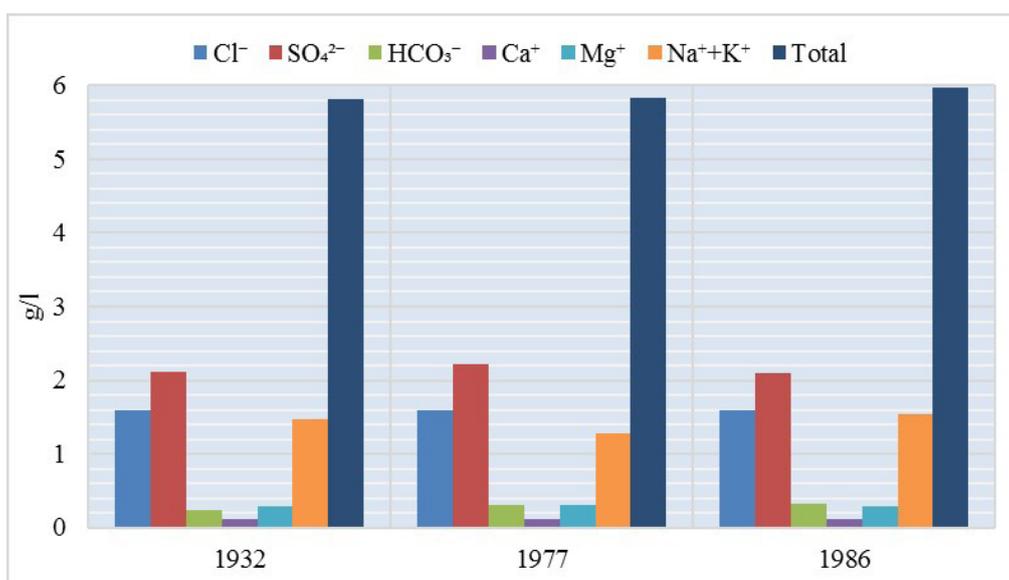


Рисунок 2 – Средний многолетний химический состав воды озера

Солевой баланс озера формируется солями, поступающими с речным стоком, атмосферными осадками, подземными водами, который в результате выпадает в осадок. Основное количество солей поступает в озеро с подземными водами 72%, с речными водами 22% и атмосферными осадками 6% (Романовский и др., 2014). На пополнение солевого за-

паса 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 5,823 г/л до 6,22 г/л соответственно (Рис.3).

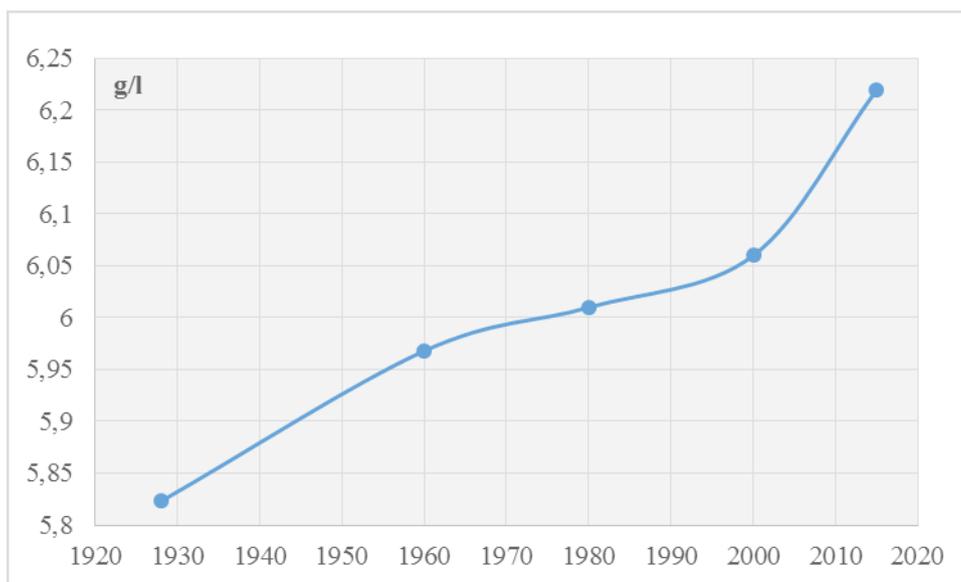


Рисунок 3 – Изменение солёности воды озера с 1928 по 2014 гг

Увеличение солёности воды в озере определяется тем, что приходная часть водного баланса значительно меньше расходной – испарения. В озере как при испарении вынос солей незначителен, происходит накопление солей, выражающееся в увеличении величины минерализации воды.

### Выводы

Изменение химического состава природных вод зависит от времени и в зависимости от химических, физических и биологических процессов

и антропогенных факторов. Озера Иссык-Куль является солоноватым. Солёность воды озера Иссык-Куль составляют 6.22 г/л. Преобладающими ионами воды озера являются сульфаты, хлориды, натрия и магния. В химическом составе воды 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. Вода в озере обладает щелочной реакцией и рН воды находится в пределах 7.95-8.82.

### Литература

- 1 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.
- 2 Асыкулов Т. (2002) Социально-экономическая и природная среда восточного Кыргызстана и проблемы развития Биосферного заповедника Иссык-Куль. Диссертация, Грейсвальд.
- 3 Берг Л.С. (1930) Гидрологические исследования на озере Иссык-Куль в 1928 году. Труды Государственного гидрологического института. №28 с. 9-24.

- 4 Гронская Т.П. (1983) Водный баланс и ожидаемый уровень воды озера Иссык-Куль. Диссертация, Государственный гидрологический институт, Ленинград.
- 5 Heinicke T. (2003). Mires within the dry steppe zone of the Issyk-Kul basin (Kyrgyzstan) – part 1: soils, stratigraphy and hydrology. *Telma* 33:35–58
- 6 Кадыров В.К. (1986) Гидрохимия озера и бассейна Иссык-Куль. Фрунзе.
- 7 Куцева П.П. (1980) Элементы баланса химических веществ в Иссык-Куль. Сборник статей: Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Ленинград. Гидрометеорологическая публикация.
- 8 Маматканов Д.М. Бажанов Л.В., Романовский В.В. (2006) Водные ресурсы Кыргызстана в современные дни; Илим: Бишкек, Кыргызская Республика.
- 9 Матвеев В.П. (1930) Гидрологические и гидрохимические исследования на Иссык-Куле в 1928 году. Материалы Комиссии по экспедиционным исследованиям Академии наук СССР. Иссык-Кульская экспедиция 1928 года. Ленинград, с. 71-110.
- 10 Матвеев В.П. (1935) Гидрологические исследования на Иссык-Куле в 1932 году. Озеро Иссык-Куль. Материалы по гидрологии, ихтиологии и рыболовству. Москва. Издательство Академии наук СССР. Выпуск 2. стр. 7-56.
- 11 Матвеев В. П. (1932) О солености озера Иссык-Куль. Записи Государственного гидрологического института. Том 6. стр. 80-90.
- 12 Романовский В., Маматканов Д., Кузьмиченко В., Подрезов О. (2014) Все об Иссык-Кульском озере. Бишкек.
- 13 Шмидт К. (1882) Исследование вод озера Иссык-Куль. Журнал Фармацевт. стр. 878-884.
- 14 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 Ecol.* 212:1349–1361. doi:10.1007/s11258-011-9911-5.
- 15 Yoshi Kawabata., Tomoko Kurita., Masahiro Nagai., Vyacheslav Aparin., Siaw Onwona-Agyeman., Masaaki Yamada., Yoshikazu Fujii., Yukio Katayama. (2014) Water Quality in the Issyk-Kul and the River Flowing into It. *Journal of Arid Land Studies.*
- 16 Забиров Р.Д. (1963) Иссык-Куль. Академия наук Киргизской ССР, Фрунзе, стр. 55.

#### References

- 1 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.*
- 2 Asyikulov T. (2002) The socio-economics and natural environment of eastern Kyrgyzstan and development issues of Biosphere reserve Issyk-Kul. Dissertation, Graysvald (in Russian)
- 3 Berg L.S. (1930). Hydrologic research in Issyk-Kul Lake in 1928. *Proceedings of the State Hydrological institute.* №28 p. 9-24. (in Russian)
- 4 Gronskaya T.P. (1983) Water balance and expecting water level of Issyk Kul Lake. Dissertation, State Hydrology Inst, Leningrad (in Russian)
- 5 Heinicke T. (2003) Mires within the dry steppe zone of the Issyk-Kul basin (Kyrgyzstan) – part 1: soils, stratigraphy and hydrology. *Telma* 33:35–58
- 6 Kadyrov V.K. (1986) Hydrochemistry of Issyk-Kul Lake and basin. Frunze. (in Russian)
- 7 Kutseva P.P. (1980) Elements of the balance of chemical substances in the Issyk-Kul Lake. Collection of articles: Studies of water balance, thermal and hydrochemical regime of Lake Issyk-Kul. Leningrad. Hydrometeorological publishing. (in Russian)
- 8 Mamatkanov, D.M.; Bazhanov, L.V.; Romanovsky, V.V. (2006). *Water Resources of Kyrgyzstan in Modern Days*; Ilim: Bishkek, Kyrgyz Republic. (in Russian)
- 9 Matveev V.P. (1930) Hydrological and hydrochemical researches in Issyk-Kul in 1928. Materials of the Commission for Expeditionary Research of the USSR Academy of Sciences. Issyk Kul expedition of 1928. Leningrad, p. 71-110. (in Russian)
- 10 Matveev V.P. (1935) Hydrological researches in Issyk-Kul in 1932. Lake Issyk-Kul. Materials on hydrology, ichthyology and fisheries. Moscow. Publishing house of the USSR Academy of Sciences. Issue 2. p. 7-56. (in Russian)
- 11 Matveev V. P. (1932) On the salinity of lake Issyk-Kul. – Notes of the State hydrological Institute. Volume 6. p. 80-90. (in Russian)
- 12 Romanovski V., Mamatkanov D., Kuzmichenok V., Podrezov O. (2014) All about Issyk-Kul Lake. Bishkek. (in Russian)
- 13 Schmidt K. (1882) Research on the waters of Issyk-Kul Lake. *Pharmacist. Journal.* p. 878-884. (in Russian)
- 14 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 Ecol.* 212:1349–1361. doi:10.1007/s11258-011-9911-5.
- 15 Yoshi Kawabata., Tomoko Kurita., Masahiro Nagai., Vyacheslav Aparin., Siaw Onwona-Agyeman., Masaaki Yamada., Yoshikazu Fujii., Yukio Katayama. (2014) Water Quality in the Issyk-Kul and the River Flowing into It. *Journal of Arid Land Studies.*
- 16 Zabirov R.D. (1963) Issyk-Kul. Academy of Sciences of Kirghiz SSR, Frunze, p 55 (in Russian)