

Сатылканов Р.А., Маматканов Д.М., Чонтоев Д.Т.

**ЫСЫК-КӨЛ КӨЛҮНҮН АБАСЫНЫН БУУЛАНУУ
ЖАНА НЫМДУУЛУГУ МЕНЕН БАЙЛАНЫШ ДЕҢГЭЭЛИ**

Сатылканов Р.А., Маматканов Д.М., Чонтоев Д.Т.

**СВЯЗЬ УРОВНЯ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ С ЕГО ИСПАРЯЕМОСТЬЮ
И ВЛАЖНОСТЬЮ ВОЗДУХА**

R.A. Satylkanov, D.M. Mamatkanov, D.T. Chontoev

**THE CONNECTION OF THE LEVEL OF ISSYKKUL LAKE
WITH ITS EVAPORABILITY AND HUMIDITY**

УДК: 551,582 (575,2)

Макалада Ысык-Көлдүн деңгээлинин көтөрүлүүсүнүн жана азаюусунун анын буулануусу жана абанын нымдуулугу менен байланышы каралат. Абанын салыштырма нымдуулугунун жана көлдүн буулануусунун акыркы он жылдагы өзгөрүүсүнүн тренддери көрсөтүлгөн. Убакыттын конкреттүү аралыгынын мисалында көлдүн деңгээлинин анын бир жыл ичиндеги буулануусуна пропорциялуу байланышы көрсөтүлгөн. 2013-жылдан 2018-жылга чейинки мезгилде көлдүн деңгээлине таасир эткен факторлорго анализ жасалган. Көлдүн деңгээли Ысык-Көл менен тыгыз буулануу жана салыштырмалуу нымдуулугуна байланыштуу. Бул узак мөөнөттүү келечекте, Ысык-Көл бассейнинин суу ресурстарын пайдалануу артыкчылыгын аныктоо үчүн зарыл: же эс алуу, же айыл чарбасын. Эсептөө жана талдоо алынган окшош дарыялардын жана Түндүк Ички Тянь-Шандын кылууга орундуу үчүн багыттама катары колдонулушу мүмкүн. Макала климатологдор, лимнологдор жана палеогеографтар үчүн кызыгуу жаратат.

Негизги сөздөр: Ысык-Көл, Кара-Баткак, абанын нымдуулугу, буулануу, көлдүн деңгээли, температура, климат.

В статье рассматривается связь колебаний уровня озера Иссyk-Куль в зависимости от его испарения и влажности воздуха. Приведены тренды изменения относительной влажности воздуха и испаряемости озера в течение последних десятилетий. На примере конкретного временного отрезка показана обратно пропорциональная зависимость уровня озера от годовой испаряемости. Приведен анализ факторов, повлиявших на уровень озера в период с 2013 по 2018 г. Уровень оз. Иссyk-Куль тесно связан с испарением и относительной влажностью воздуха. Имеет место обратно пропорциональная зависимость уровня озера от годовой испаряемости. Необходимо определить приоритет использования водных ресурсов в Иссyk-Кульской котловине в дальнейшей перспективе: либо рекреация, либо сельскохозяйственное производство. Полученные результаты расчетов и анализа можно использовать в качестве реперных для экстраполяции на аналогичные речные бассейны Внутреннего и Северного Тянь-Шаня. Статья представляет интерес для климатологов, лимнологов и палеогеографов.

Ключевые слова: Иссyk-Куль, Кара-Баткак, влажность воздуха, испаряемость, уровень озера, температура, климат.

The article discusses the relationship of fluctuations of the Lake Issyk-Kul level, depending on its evaporation and humidity. The trends of changes in the relative humidity of the air and evaporation of the lake during the last decades are given. By the example of a specific time interval, the inversely proportional dependence of the lake level on annual evaporation is shown. The analysis of the factors that influenced the lake level in the period of 2013-2018 is given. Lake level Issyk-Kul is closely related to evaporation and relative humidity of the air. There is an inversely proportional dependence of the lake level on the annual evaporation. It is necessary to determine the priority of using water resources in the Issyk-Kul hollow in the longer term: either recreation or agricultural production. The obtained results of calculations and analysis can be used as reference for extrapolation to similar river basins of the Inner and Northern Tien Shan. The article is of interest to climatologists, limnologists and paleogeographers.

Key words: Issyk-Kul, Kara-Batkak, air humidity, evaporation, lake level, temperature, climate.

Введение. Озеро Иссyk-Куль - важнейший объект хозяйственной деятельности в Иссyk-Кульской области и главный рекреационный ресурс Кыргызстана. От колебаний уровня оз. Иссyk-Куль зависят ширина прибрежной зоны, используемой в качестве пляжей пансионатов и домов отдыха, размещенных на его берег и перспектива дальнейшего народно-хозяйственного освоения его природных ресурсов.

Основной целью исследований является получение необходимой базы данных для построения долгосрочного прогноза изменения уровня оз. Иссyk-Куль в связи с глобальными климатическими изменениями. Наблюдения ведутся за температурой и влажностью воздуха, за уровнем и температурой воды в озере, а также – за береговыми процессами. Из многочисленных составляющих водного баланса оз. Иссyk-Куль выделены 3 основных фактора, с которыми связывают понижение его уровня: 1). Прекра-

щение гидрографической связи р.Чу с оз. Иссык-Куль [1]. 2). Понижение увлажненности в бассейне оз. Иссык-Куль [2-8]. 3). Забор воды на орошение из питающих оз. Иссык-Куль рек [9-11].

В ретроспективном плане уровень оз. Иссык-Куль и его размеры существенно изменялись. Судя по радиоуглеродной датировке озерных отложений, около 26 тыс. лет назад, уровень оз. Иссык-Куль в позднем плейстоцене находился на абсолютных высотах около 1640 м [12, 13], р. Чу при этом впадала в озеро в районе урочища Ак-Олен [14].

В голоцене также происходили существенные колебания уровня озера. Согласно радиоуглеродной датировке бозбулунских озерных отложений в низовьях р. Жыргалан, приблизительно 1200 лет назад уровень озера был на отметке около 1622 м, достигая высоты Караташского порога стока 1622-1623 м, расположенного на выходе из котловины в Боомское ущелье. Глубина оз. Иссык-Куль над Кутмалдинским водоразделом не превышала 2 м [12].

Согласно радиоуглеродным датировкам [15], 480-590 лет назад уровень оз. Иссык-Куль был ниже современного на 4-6 м.

Основоположники теории рационального управления и комплексного использования водных ресурсов Крицкий С.Н. и Менкель М.Ф. [16] в механизме колебаний уровня замкнутых водоемов выделяют два фактора: активный и реактивный. Дальнейшее понижение уровня оз. Иссык-Куль скажется не только на микроклимате одноименной котловины, но и на экосистеме самого озера, т.е. увеличение численности фитопланктона и микроорганизмов, а также повышение солености воды в озере. Продолжение этого процесса будет способствовать повышению продуктивности сельского хозяйства, негативной стороной - увеличение темпов падения уровня оз. Иссык-Куль. В связи с ранее установленным фактом связи уровня оз. Иссык-Куль с его испаряемостью за период 1998-2013 гг., является актуальным рассмотрение этого вопроса с охватом других временных отрезков и с привязкой к влажности воздуха.

Методы исследований. Информация о влажности и испаряемости в Иссык-Кульской котловине и колебаниях уровня оз. Иссык-Куль за весь период наблюдений получена в основном, из архивных и литературных источников [1-14, 19] и с помощью автоматических метеостанций (АМС), установленных в последнее время в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу. Наиболее длинные ряды данных об относительной влажности воздуха получены на МС Чолпон-Ата (1933 г.), на МС Балыкчы 1936 г. и на МС Кызыл-Суу 1951 г. Данные об уровне оз. Иссык-Куль получены с озерных стационаров Тянь-Шанского высокогорного научного центра Института водных проблем

и гидроэнергетики НАН КР (ТШВНЦ) Кара-Ой и Кара-Булун.

Данные по испаряемости рассчитывались по эмпирической формуле Иванова Н.Н.:

$$E = 0,0018(25 + t)^2 \cdot (100 - a), \quad (1)$$

где t - среднемесячная температура воздуха, a - среднемесячная влажность воздуха [17].

В Иссык-Кульской котловине относительная влажность воздуха регистрируется на трех метеостанциях, расположенных на приозерной равнине: на МС Балыкчы, Чолпон-Ата и Кызыл-Суу, на двух, расположенных в лесной зоне, - на ГМС Чон-Кызыл-Суу и в нивально-гляциальной зоне - МС Кара-Баткак. На базе ТШВНЦ, расположенного в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу, в 2013 г. полностью восстановлен мониторинг современных изменений климата в 3 разновысотных точках:

- гидрометеорологический стационар Чон-Кызыл-Суу, на высоте 2555 м (рис. 1а);
- гляциологический стационар Кара-Баткак, на высоте 3300 м (рис. 1б);
- озерный стационар Кара-Булун, на высоте 1609 м (рис. 1 в).

Наблюдения в равнинно-предгорно-пустынной зоне бассейна р. Чон-Кызыл-Суу выполняются на МС Кызыл-Суу на высоте 1740 м Кыргызгидрометом, а в среднегорной лесо-лугово-пустынной зоне - на ГМС Чон-Кызыл-Суу на высоте 2555 м.

Наблюдения на ГМС выполнялись только в период с 1948 по 1991 гг., позже - вплоть до 2006 г., они были прерваны. С 2007 г. наблюдения были восстановлены на базе ТШВНЦ. С этого же времени метеонаблюдения выполняются на леднике Кара-Баткак в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу. На ГМС Чон-Кызыл-Суу с 2012 г. параллельно с МС Чон-Кызыл-Суу действуют АМС Vaisala и Li-cor (рис. 1а), а с 2017 г. - АМС Campbell Scientific (рис. 1в).

Для мониторинга температуры и влажности воздуха на леднике Кара-Баткак ещё в 1956 г. на высоте 3415 м была установлена психрометрическая метеобудка с недельными термографами и гигрографами, с помощью которых велись наблюдения и продолжают в настоящее время в течение всего периода абляции ледника.

На самом леднике Кара-Баткак в июле 2017 г. на высоте 3400 м установлена АМС Campbell Scientific (рис. 1 в).

На правобережной морене ледника Кара-Баткак на высоте 3450 м в августе 2018 г. дополнительно была установлена АМС Campbell Scientific.

Результаты исследований: В Иссык-Кульской котловине влагосодержание в течение всего года в среднем на 1 ГПа выше, чем в других районах Киргизии, расположенных на такой же высоте.

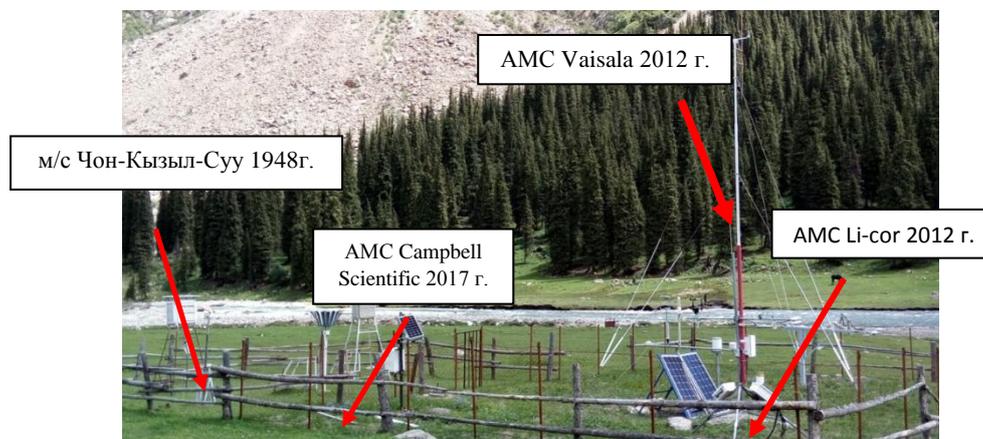


Рис. 1а. Гидрометеорологический стационар Чон-Кызыл-Суу (AMC Vaisala, Li-cor, CampbellScientificи психрометрическая будка), на высоте 2555 м.



Рис. 16. Гляциологический стационар Кара-Баткак (AMCWUSH-2010), на высоте 3300 м



Рис. 1в. Озерный стационар Кара-Булуң, на высоте 1609 м

Среднегодовая относительная влажность воздуха по всей прибрежной зоне изменяется незначительно и составляет 56 % в западной, наиболее засушливой ее части и 59-70 % на остальной территории котловины [11,18].

Ее максимальная среднегодовая величина наблюдается в лесной зоне – 70 %.

Для сравнения, в нивально-гляциальной зоне – 57-58 %.

В табл. 1 приведена усредненная относительная влажность воздуха за весь период работы на 5 метеостанциях Иссык-Кульской котловины.

В горных районах влажность воздуха несколько больше, чем на тех же высотах в свободной атмосфере, т.к. ближе источник влаги - земная поверхность. Доля влаги в атмосферном воздухе является весьма большой: в среднем над каждым квадратным метром земной поверхности в воздухе содержится около 28,5 кг водяного пара. Относительная влажность воздуха регистрируется на 3-х МС, расположенных на приозерной равнине, и на 2-х метеостанциях в лесной и в нивально-гляциальной зонах. На МС Балыкчи и Чолпон-Ата ряды наблюдений нарушены в 1956 и 1971 гг. (табл.1). До переноса МС Балыкчи работала на высоте 1615 м, а в 1956 г она бы-

ла перенесена на 1 км ближе к горам, ее абсолютная отметка стала 1657,8 м.

Таблица 1.

Относительная влажность воздуха на МС Иссык-Куля

№	Метеостанция	Годы	Относительная влажность, %
1	Балыкчы	1936-1956	59
		1957-2015	55
		1936-2015	56
2	Кызыл-Суу	1961-1989	59
		1990-2015	60
		1961-2015	59
3	Чолпон-Ата	1933-1971	67
		1972-2015	63
		1933-2015	65
4	Чон-Кызыл-Суу	1957-1959	71
		2007-2018	70
5	Кара-Баткак	1966-1970	63
		1971-1982	58
		2016-2018	57

В связи с переносом станции уменьшилась относительная влажность воздуха с марта по август и в целом за год.

В Иссык-Кульской котловине в последние десятилетия на МС Балыкчи, Чолпон-Ата и Кызыл-Суу установлен восходящий тренд изменения относительной влажности воздуха (рис. 2).

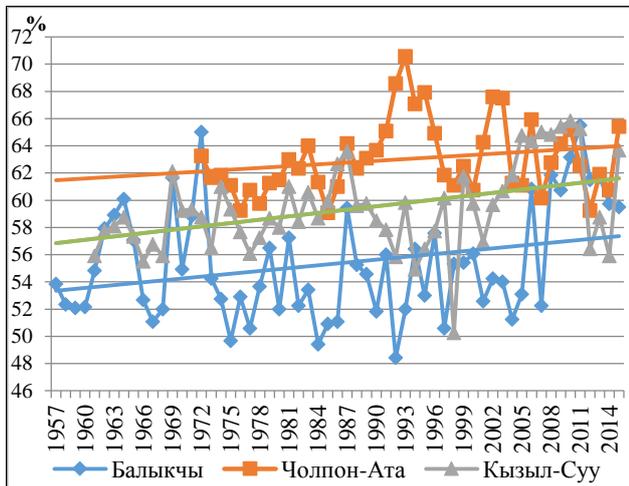


Рис. 2. Тренды изменения годовой относительной влажности воздуха на м/с Балыкчи (1957-2015 гг.), Кызыл-Суу (1961-2015 гг.) и Чолпон-Ата (1972-2015 гг.).

На МС Балыкчи происходит скачкообразное увеличение среднегодовой относительной влажности воздуха в период с 2008 по 2013 гг., где на западе Иссык-Кульской котловины значения влажности достигли как в средней части и юго-востоке (рис. 2).

С 1972 по 2015 гг. тренды относительной влажности воздуха на м/с Балыкчи, Чолпон-Ата и Кызыл-Суу были положительными (рис. 2).

С 2008 по 2013 гг. на МС Балыкчи и Кызыл-Суу наблюдалось скачкообразное увеличение среднегодовой относительной влажности, составившее на м/с Балыкчи 9 %, а на м/с Кызыл-Суу – 4 %. Синхронность трендов относительной влажности воздуха на МС Балыкчи и Кызыл-Суу в различных временных отрезках свидетельствует о том, что воздушные массы, вторгающиеся в Иссык-Кульскую котловину с запада, при продвижении на восток прижимаются к

южному побережью озера. Результатом такой особенности вторжения воздушных масс может быть значительное оледенение хребтов Тескей Ала-Тоо, оказывающее выхолаживающее действие. О значительном оледенении хребта Тескей Ала-Тоо свидетельствуют данные Каталога ледников СССР [18].

Согласно Каталогу, на Тескей Ала-Тоо в бассейне оз. Иссык-Куль 481 ледник суммарной площадью 510 км², на хребте Кунгей Ала-Тоо - 150 ледников площадью 140 км²; т.е. площадь оледенения хребта Тескей Ала-Тоо в 3,6 раза больше, чем хребта Кунгей Ала-Тоо.

Во время западных вторжений при спуске с гор холодный воздух северных румбов иссушается и, продвигаясь на восток котловины, постепенно насыщается парами озера Иссык-Куль. Это наглядно регистрировалось в 70-80-х гг. 7-ю МС Иссык-Кульской котловины. Среднемесячные значения относительной влажности воздуха на западе котловины (МС Балыкчи) были хорошо синхронизированы с аналогичными среднемесячными значениями северного побережья (МС Чолпон-Ата) и восточной части котловины (МС Сан-Таш). На основании этого можно сделать вывод, что воздушные массы Иссык-Кульской котловины формируются в основном при западных вторжениях воздушных потоков в котловину с последующим насыщением их влагой по мере продвижения на восток.

В период 1957-1997 гг. наблюдалось устойчивое падение уровня Иссык-Куля, а в 1997-2013 гг., когда наблюдался значительный его подъем, обнаружены разнонаправленные тренды относительной влажности на этих временных отрезках (рис. 3).

Анализ многолетних данных по относительной влажности воздуха на МС Балыкчи показывает ее резкое увеличение в период с 2006-2013 гг. (рис. 3). Это явление свидетельствует об увеличении в этот период вторжений в Иссык-Кульскую котловину холодных воздушных масс в восточную часть котловины.

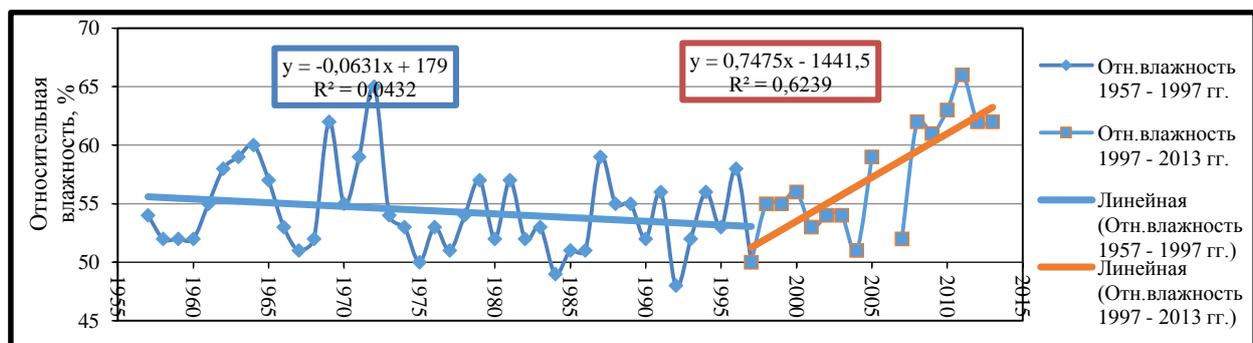


Рис. 3. Среднегодовая относительная влажность на м/с Балыкчи и ее тренды в фазы падения и подъема уровня оз. Иссык-Куль [19]

Это явление свидетельствует об увеличении в этот период вторжений в Иссык-Кульскую котловину холодных воздушных масс в восточную части котловины. Альтернативой этой точке зрения может быть увеличение западных вторжений не через пониженную часть хребта Кунгей-Ала-Тоо, а по Боомскому ущелью. В этом случае не происходит потеря части влаги при переваливании воздушного потока через орографический барьер. Вопрос о соотношении локальных и региональных осадков в Иссык-Кульской котловине является одним из главных при рассмотрении водного баланса и причин многолетнего понижения уровня озера. Падение уровня оз. Иссык-Куль в период с 1927-1997 гг. позволяет утверждать, что вынос влаги из котловины преобладал над ее поступлением извне, а после 1997 г. – подъем уровня стал меньше ее привноса [14].

Во время подъема уровня озера с 1998-2013 г. прослеживается зависимость уровня озера от годовой относительной влажности воздуха (рис. 4).

Уровень см

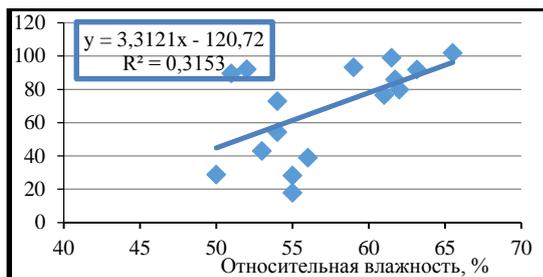


Рис. 4. Зависимость уровня озера Иссык-Куль от относительной влажности м/с Балыкчы.

Чем выше относительная влажность, тем выше уровень оз. Иссык-Куль.

В табл. 2 и на рис. 5 представлены изменения среднемесячной относительной влажности по вертикальным зонам Иссык-Кульской котловины, где максимумы наблюдается летом в лесной и нивально-гляциальной зоне, что тесно коррелируется с количеством выпавших там осадков.

На леднике Кара-Баткак относительная влажность значительно ниже. Это объясняется тем, что с высотой давление водяного пара убывает, уменьшается и абсолютная влажность воздуха. В связи с этим давление и плотность воздуха в целом также убывают с высотой.

Наибольшая относительная влажность воздуха отмечается в зимние месяцы в приозерной равнине, в лесо-лугово-степном и гляциально-нивальном поясах в мае-августе, наименьшая – в приозерной равнине в летние месяцы, в лесолугово-степном и гляциально-нивальном поясах – в зимние месяцы. В летний период относительная влажность больше на горных склонах, чем в котловине.

Общее количество влаги, пронесимой воздушными течениями над территорией котловины, велико. Этому не противоречит скудность осадков на приозерной равнине западной части котловины. Хребты Тескей Ала-Тоо достаточно высоки, чтобы "выхватывать" из атмосферы часть влаги в виде твердых осадков. Осадки в годовом их ходе преобладают летние.

Таблица 2.

Среднемесячная относительная влажность воздуха на метеостанциях Иссык-Кульской котловины

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Балыкчы 1936-2015 гг.	59	60	59	54	56	55	55	53	53	55	58	60	56
Чолпон-Ата 1933-2015 гг.	67	69	69	63	64	64	63	63	62	65	66	66	65
Кызыл-Суу 1961-2015 гг.	63	64	62	56	58	57	57	57	56	58	62	63	59
Чон-Кызыл-Суу 2007-2018 гг.	69	69	65	67	70	75	74	73	71	70	70	71	70
Кара-Баткак 1972-2018 гг.	54	57	61	60	65	65	64	61	57	54	50	52	59

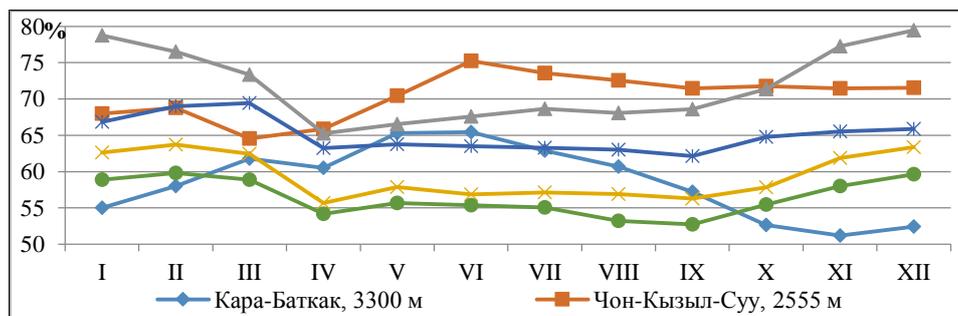


Рис. 5. Сравнение среднемесячной влажности воздуха на метеостанциях Иссык-Кульской котловины

Поэтому сезонные колебания относительной влажности воздуха, зафиксированные с помощью АМС Campbell Scientific на высоте 3400 м на леднике Кара-Баткак, в 2017/18 балансый год происходил в следующем порядке: на осень 2017 г. пришлось 48 %, на зиму 2017/18 гг. - 47 %, на весну 2018. - 55 %, на лето 2018г. - 78 %.

В долинных и предгорных районах, где отмечаются высокие температуры воздуха и низкая влажность, величина испарения лимитируется количеством атмосферных осадков.

В горных районах с высотой увеличивается количество осадков, но понижается температура воздуха, возрастает его влажность и уменьшается величина испарения [17, 19].

На интенсивность испарения влияют многие факторы, главные из них температура испаряющей поверхности, влажность воздуха и ветер.

Согласно закону Дальтона, скорость испарения прямо пропорциональна разности между давлением насыщенного пара E_s , вычисленным по температуре испаряющей поверхности, и парциальным давлением водяного пара e , находящегося в воздухе, и обратно пропорциональна атмосферному давлению R :

$$C_0 = [A (E_s - e)] / R, \quad (2)$$

где C_0 - скорость испарения, A - коэффициент пропорциональности, зависящий, в частности, от скорости ветра.

Из закона Дальтона следует, что скорость испарения будет возрастать по мере увеличения разности $E_s - e$, т. е. дефицита влажности воздуха, вычисленного по температуре испаряющей поверхности.

Скорость испарения зависит и от скорости ветра, что связано с турбулентной диффузией пара, которая становится интенсивнее по мере усиления ветра. В связи с переносом в 1956 году МС Балыкчи от озера на 1 км к горам изменился внутригодовой ход температуры и относительной влажности воздуха, определяющих расчетные значения испаряемости (рис. 6). Максимальное увеличение испаряемости происходило в летний период (июнь-август).

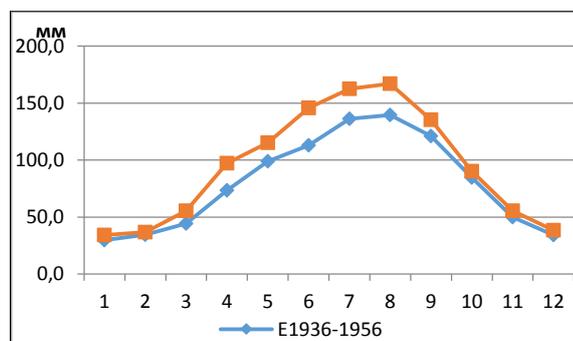


Рис. 6. Испаряемость на МС Балыкчи до и после переноса станции в 1956 г.

При переносе станции увеличилась годовая испаряемость. В период 1936-1956 гг. она составляла 960 мм, а с 1957 по 2013 гг. - 1134 мм.

Западная часть Иссык-Куля относится к экстраридной зоне. Перенос МС Чолпон-Ата в 1971 вызвал в основном увеличение испаряемости во второй половине года - с июля по декабрь. В первой половине года с марта по июнь изменения испаряемости были незначительными. До переноса станции в период 1933-1971 гг. годовая испаряемость на МС Чолпон-Ата составляла 785 мм, а после переноса на 1 км ближе к озеру с 1972 по 2015 гг. она увеличилась до 951 мм. На МС Кызыл-Суу в периоды 1961-1971 гг. и 1972-2015 гг. испаряемость не изменилась, что объясняется постоянным нахождением станции на одном и том же месте. В связи с вышеизложенным следует, что метеостанции, расположенные вблизи водоемов, являются нерепрезентативными для характеристики режима испарения [21].

В ряду наблюдений на МС Балыкчи с 1957 по 2013 гг. самая низкая испаряемость была в самом холодном 1972 году - 768 мм, а самая высокая испаряемость - в самом жарком 1997 году - 1346 мм (рис. 8а и 8б). При этом испаряемость в центральной части озера составляла 907 мм, а на западе и востоке озера - 712 мм [22].

Расчет пространственного распределения испарения с акватории озера производился по региональной формуле Романовским В.В. [14] на основе наблюдений за испарением и метеоземлементами на полуострове Сухой Хребет, выполненных в июне-августе 1984 г. Наблюдения выполнялись на испарителе ГГИ-3000, установленном в одной из лагун. Для анализа различных формул испарения были привлечены данные за 1985 и 1986 гг. с плота-испарителя, установленного у озерной станции Чолпон-Ата.

Наблюдениями на полуострове Сухой Хребет установлено, что величина испарения определяется в основном температурой воды. В мелководной, изолированной от озера лагуне, где дневные температуры воды достигали 28 °С, испарение составило 450 мм, а в открытом озере в 100 м от берега, где дневные температуры не превышали 24 °С, - 374 мм. За это же время величина испарения на плоту-испарителе, установленном в районе, где большие глубины подходят близко к берегу, составила 274 мм. Таким образом, становится очевидным, что величина испарения связана с морфологией озера, определяющей температуру воды в зависимости от глубины. Наблюдения с помощью испарителя показали, что в течение почти всего года испарение с акватории прибрежной зоны (глубины от 0 до 100 м) было больше, чем с центральной зоны (глубины от 100 до 668 м) (табл. 3).

Таблица 3.

Испарение в прибрежной (0-100 м) и центральной (100-668 м) зонах озера за 1982 г. (Романовский В.В.)

Зона	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Прибрежная	31	31	34	36	62	72	81	102	108	81	75	65	778
Центральная	28	36	31	30	34	42	50	74	66	62	60	56	569
Озеро в целом	30	33	33	34	51	60	69	91	92	74	69	61	697

В феврале, когда у берегов наблюдались более низкие температуры, чем в центре озера, испарение центральной зоны превышало испарение у берегов. Объясняется это происходящим на оз. Иссык-Куль пеллингом. Этот процесс связан с подъемом холодных глубинных вод в центре озера и оттоком прогретых поверхностных вод к берегам, что оказывает значительное влияние на пространственную неоднородность испарения с акватории озера [14].

Для исследования климатических причин падения уровня озера необходимо изучение многолетнего режима важнейших элементов климата, определяющих состояние общей увлажненности в бассейне озера, температуру и влажность воздуха, атмосферные осадки и испаряемость. В засушливом 2014 г. на МС Чон-Кызыл-Суу выпало 494 мм осадков [23], и как следствие уже в апреле следующего года уровень озера понизился на 58 см. В 2016 г. выпало 794 мм осадков [23], что на 157 мм больше нормы, среднегодовой уровень озера в сентябре этого года повысился на 62 см. В 2014 г. среднегодовая температура

воздуха составила $-0,4^{\circ}\text{C}$, а во влажном 2016 г. $+1,4^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха была 66 % и 74 %, соответственно [24].

Подъем уровня озера в 2016 г. происходил при аномально высоких осадках, относительно повышенной среднегодовой температуре и при высокой влажности воздуха. Годовая абляция льда ледника Кара-Баткак в этот год составила 2862 мм водн.экв., для сравнения, в 2014 г. - 2502 мм водн.экв., соответственно. Забор воды по системе р. Чон-Кызыл-Суу в 2016 г. был минимальным - 30,8 млн. м³ (2014 г. - 40,6 млн. м³). Трендовый анализ динамики влажности и испаряемости показал, что во временном отрезке 1961-2015 гг. изменения годовой испаряемости произошли на приозерной равнине в районе МС Кызыл-Суу (рис. 7).

При уменьшении испаряемости в период 1997 - 2013 гг., регистрируемой на МС Кызыл-Суу (рис. 7), был подъем уровня оз. Иссык-Куль.

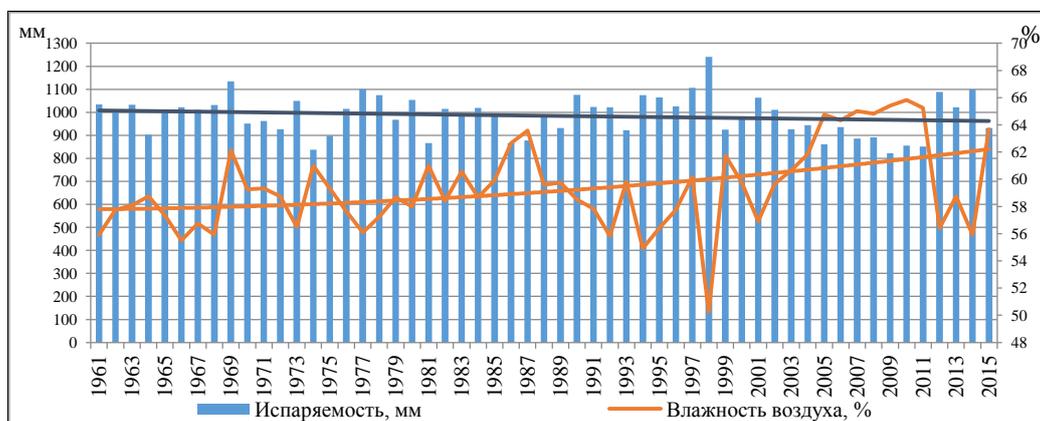


Рис. 7. Тренд изменения испаряемости и влажности воздуха на м/с Кызыл-Суу.

В нивально-гляциальной зоне испаряемость сравнительно мала.

Это связано с тем, что в этой зоне наблюдаются низкие температуры испаряющей поверхности, а давление насыщенного водяного пара (E_s) и фактическое давление водяного пара малы и близки между собой, поэтому и разность ($E_s - e$) невелика.

Количество воды, испаряющейся в единицу времени со свободной поверхности, находится в зависимости от площади испаряющей поверхности,

скорости движения атмосферного воздуха, недостатка насыщения и барометрического давления.

Во время подъема уровня озера в 1998 - 2013 гг. прослеживалась обратно пропорциональная зависимость уровня озера от годовой испаряемости в западной части котловины, в районе МС Балыкчи. Ход испаряемости в этот период показан на рис. 8. По данным наблюдений озерных гидрологических постов уровень Иссык-Куля с 1927 по 1998 гг. упал на 3,4 м. Однако, на фоне падения уровня отмечались и периоды его подъема (рис. 9).

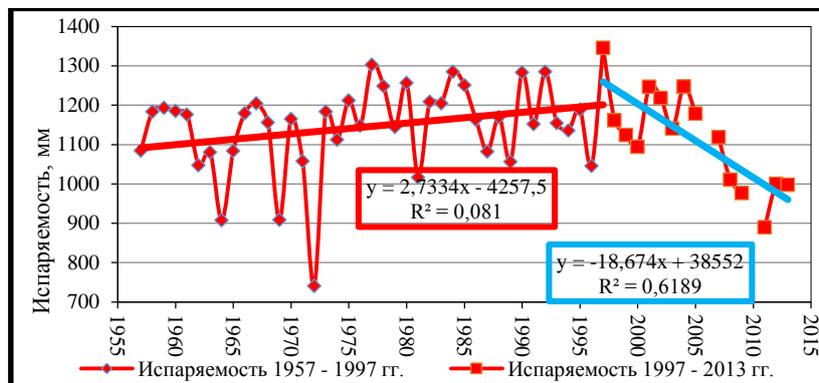


Рис. 8. Среднегодовая испаряемость на м/с Балыкчы

Важным обстоятельством в вопросе о причинах колебания уровня озера Иссык-Куль является установленный факт связи уровня с испаряемостью озера в западной части его акватории. Здесь в период 1998 - 2013 гг. прослеживалась обратная зависимость

уровня озера от его годовой испаряемости в западной части котловины. Естественно, испаряемость меняется в зависимости от влажности и баланса солнечной радиации.

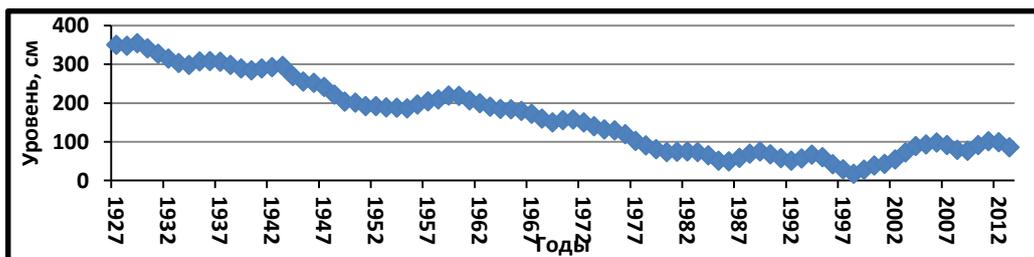


Рис. 9. Ход уровня озера Иссык-Куль относительно отметки 1606 м

После спада уровня оз. Иссык-Куль во второй половине 2006, 2007 и 2008 гг. началась новая фаза его подъема в 2009-2011 гг. В сентябре 2011 г. уровень озера достиг максимальной за последние 45 лет отметки 1607,10 м (рис. 10).

В 2010 г. сезонный подъем уровня оз. Иссык-Куль достиг максимума по продолжительности с февраля по ноябрь, а по амплитуде +31 см. В последнюю фазу подъема уровень оз. Иссык-Куль стабилизировался на 1607 м на 2,5 года с 1 июня 2010 по 15 ноября 2012 гг.

Сезонные колебания уровня оз. Иссык-Куль, с подъемом уровня воды летом и осенью, а также его падением зимой составили 10 см.

После подъема уровня оз. Иссык-Куль в июле-августе 2013 г. до отметки 1607 м в апреле 2015 г. последовал его спад до отметки 1606,4 м, что связано со сравнительно малым выпадением снега в 2014 г. в горах Иссык-Кульской межгорной впадины. По данным лаборатории Гляциологии ТШВНЦ на леднике Кара-Баткак наблюдался незначительный запас воды в сезонном снеге – 273 мм

вод.экв., осадков было 442 мм, что на 47 % меньше нормы, при невысокой средней температуре воздуха в период абляции (4,8 °C). Для сравнения, средняя температура воздуха в период абляции в 2013-2017 гг. составила 5,1 °C [24].

В 2015 г. был небольшой подъем уровня оз. Иссы-Куль при среднем значении запасов воды в сезонном снеге 430 мм вод.экв., осадков 726 мм и значительной абляции 3009 мм в.экв. ледника Кара-Баткак в том году [25].

Значительный подъем уровня оз. Иссык-Куль в 2016 г до отметки 1607,05 м в августе месяце связан с аномально большим количеством осадков в Иссык-Кульской котловине.

На леднике Кара-Баткак в 2015/16 балансовом году выпало 1348 мм осадков, а абляция на языке составила 2821 мм вод.экв, что представляет собой высокие показатели.

В 2017 г. наблюдалось 2 пика подъема уровня озера: в мае до отметки 1607,02 м, в июле-августе до отметки 1607 м (рис. 10).

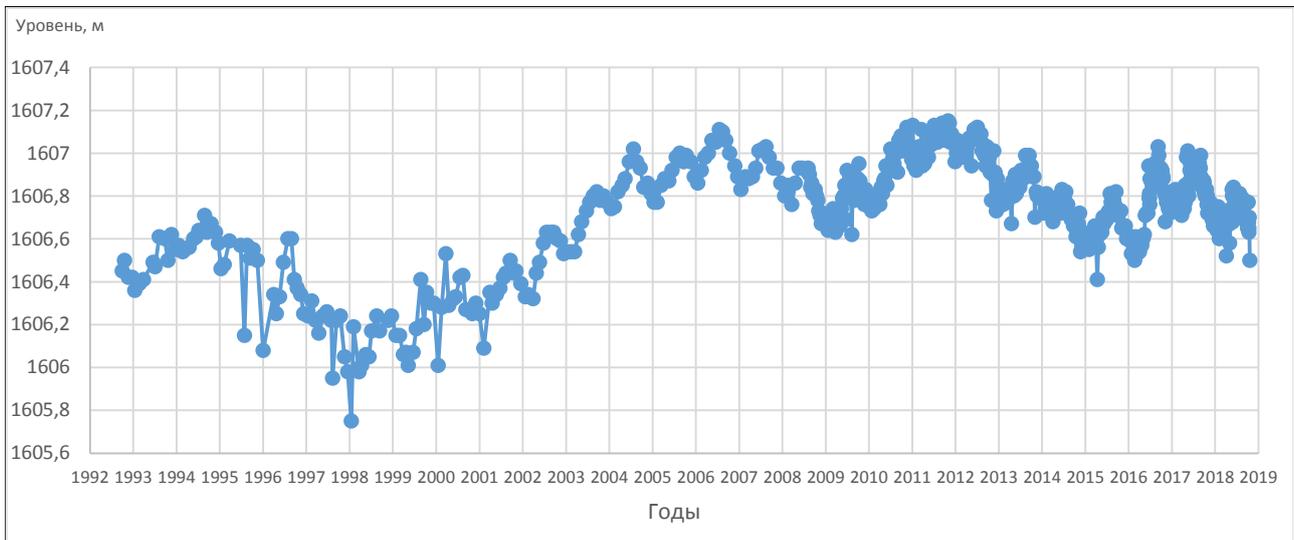


Рис. 10. Ход уровня озера Иссык-Куль за период наблюдений 1992-2018 гг. по данным спутниковой альтиметрии. Спутники: TOPEX/Poseidon (1992-2005), Jason-1 (2002-2013),-2 (2008-2018),-3 (2016-2018), GFO (1998-2008), ERS-1 (1996-2000),-2 (2003-2011), ENVISAT (2002-2010), SARAL/AltiKa (2013-2018), Sentinel-3a (2016-2018).

Первый подъем уровня объясняется значительным запасом воды в сезонном снеге в зонах формирования стока рек Иссык-Кульской котловины на примере ледника Кара-Баткак: 519 мм вод.экв. и повышенной температуре воздуха в мае месяце, способствовавшей интенсивному таянию снега в водосборных бассейнах котловины. Второй подъем уровня озера объясняется интенсивной абляцией ледников Иссык-Кульской котловины и высокой температурой воздуха на ледниках.

На леднике Кара-Баткак абляция в летний период 2017 г. составила 3065 мм вод.экв., средняя температура воздуха в период абляции $-5,4^{\circ}\text{C}$.

Минимальные значения уровня оз. Иссык-Куль наблюдались с января по апрель, максимальные - с мая по октябрь. Наибольшая повторяемость минимальных уровней приходится на февраль, максимальная - на август. Самые большие падения уровня озера были в 1976 г. - 22 см, 1995 г. - 20, 1997 г. - 23 и 2018 г. - 49 см, а самые большие его подъемы в 2002 г. +18 см, 2003 г. +22 см и 2016 г. +53 см. В аномально жарком 1997 г. среднегодовая температура воздуха превышала норму на $1,6^{\circ}\text{C}$, а сумма годовых осадков была меньше нормы на 120 мм, а уровень оз. Иссык-Куля упал на 23 см. В 2003 г. средняя годовая температура была выше нормы на $0,2^{\circ}\text{C}$, однако осадков выпало на 90 мм больше нормы, т.е. в 2,3 раза больше, чем в 1997 г. и сформировался большой речной сток, в результате уровень зеркала воды на оз. Иссык-Куль поднялся на 22 см.

По Романовскому В.В. [26] при долговременном существовании климатических условий 2003 года, когда осадки – 1,28 от нормы, годовая температура на $0,2^{\circ}\text{C}$ выше нормы, уровень оз. Иссык-Куль в течение 50 лет может подняться на 11 м. При этом уровень воды может достичь высоты Кутмалдинского порога стока и затопить населенные пункты, рекреационные сооружения на голоценовой террасе исследуемого озера. А при климатических условиях 1997 года (осадки – 0,6 нормы, годовая температура на $1,6^{\circ}\text{C}$ выше нормы) за такое же время уровень озера может упасть на 11,5 м. Эти оба сценария событий будут иметь катастрофические последствия на побережье оз. Иссык-Куль.

Подъем уровня озера Иссык-Куль в течение 8 лет с 1998 по 2005 гг., составивший 11 см/год, так же происходил на фоне повышенных летних температур (на $0,4^{\circ}\text{C}$ выше нормы), обеспечивающих высокий ледниковый сток, и большее количество атмосферных осадков (на 12 % выше нормы).

На рис. 11 приведена зависимость уровня озера от испаряемости, зафиксированной на МС Балыкчы. В связи с проявляющимся глобальным климатическим потеплением следует ожидать сохранение тренда аридизации климата Иссык-Кульской котловины. В долгосрочной перспективе в ходе колебаний уровня оз. Иссык-Куль будет преобладать тренд к его понижению, что свойственно всем бессточным озерам аридных областей Центральной Азии.

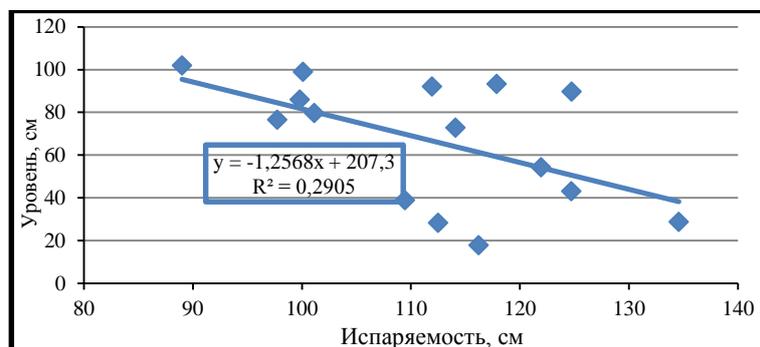


Рис.11. Зависимость уровня озера Иссык-Куль от испаряемости на МС Балыкчи.

Выводы

1. На фоне преобладающего тренда понижения уровня оз. Иссык-Куль в голоцене, будут иметь место периодические короткопериодные 1-ые несколько десятилетий, всплески повышения его уровня, что требует мониторинга и палео-лимнологические исследования.

2. Необходимо определить приоритет использования водных ресурсов в Иссык-Кульской котловине в дальнейшей перспективе: либо рекреация, либо сельскохозяйственное производство.

3. Полученные результаты можно использовать в качестве реперных для экстраполяции на аналогичные речные бассейны Тянь-Шаня.

Литература:

- Бондарев Л.Г. Колебания уровня по археологическим и историческим данным // Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, Илим. 1978, С. 112-117.
- Большаков М.Н. Против антропогенной гипотезы понижения уровня озера Иссык-Куль в XX столетии // Изв. Кирг. ССР. 1982. № 4. С. 20-25.
- Шнитников А.В. Водные ресурсы озера Иссык-Куль // Водные ресурсы. 1977. № 5. С. 5-19.
- Шнитников А.В. Иссык-Куль. Ф.: Илим. 1979. С. 196.
- Хейфец М.Н. Некоторые вопросы влияния озера Иссык-Куль на климат окружающих районов // Вопросы географ. Киргизии. Фрунзе. Илим, 1966. С. 57-58.
- Хейфец М.Н. Причины понижения уровня озера за последние десятилетия // Озеро Иссык-Куль. Фрунзе: Илим, 1978. С. 117-122.
- Хейфец М.Н. К проблеме уровня озера Иссык-Куль в свете современных изменений климата // Прибрежная зона озера Иссык-Куль. Фрунзе. Илим, 1979. С. 5-33.
- Хейфец М.Н. О возможных понижениях уровня озера // Озеро Иссык-Куль и тенденции его природного развития. Л.: Наука, 1986. С. 136-141.
- Каплинский М.И. О влиянии водохозяйственных мероприятий на изменение уровня озера Иссык-Куль // Вопросы вод.хоз-ва. 1974. Вып. 29. С. 178-185.
- Кривошей М.И. К вопросу причинах падения уровня оз. Иссык-Куль в 1883-1974 гг. // Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Л.: Гидрометиздат, 1980. С. 55-62.
- Раткович Д.Я. Водный баланс и режим уровня озера Иссык-Куль // Водные ресурсы. 1977, № 5. С. 20-33.
- Алешинская З.В., Бондарев Л.Г., Воскресенская Т.Н., Лефлат О.Н. Разрез новейших отложений Иссык-Кульской котловины. М: МГУ, 1971. 164 с.
- Трофимов А.К. История озера Иссык-Куль в голоцене // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. - М.: Наука, 1978. - С. 79-85.
- Романовский В.В. Озеро Иссык-Куль как природный комплекс. Фрунзе: Илим, 1990. С. 24-41.
- Озера Тянь-Шаня и их история. «Наука», Л., 1980. 20 с.
- Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Колебания уровня замкнутых водоемов. Тр. гидропроектов, сб. 12. М.-Л.: Энергия, 1964.
- Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости // Изв. Всесоюзного географического общества. 1954. Т. 86. № 2. С. 189-196.
- Каталог ледников СССР: Т. 8. Ч. 3, 5-7, 11. Л.: Гидрометеоздат, 1970.
- Романовский В.В. Ритмичность климата и изменений уровня озера Иссык-Куль. // Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов. - Б.: Илим, 2005. - С. 81-89.
- Ковда В.А. Основы учения о почвах. Наука, М. 1973.
- Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. - Л. Гидрометеоздат. 1976. 96 с.
- Романовский В.В., Ставиский Я.С. Термический режим озера Иссык-Куль. В кн.: Тянь-Шанская физико-географическая станция и исследование высокогорной Киргизии. - Фрунзе: Илим, 1980, С. 159-167.
- Сатылканов Р.А. Временная изменчивость атмосферных осадков Иссык-Кульской котловины. Вестник ЗабГУ. 2017. Т.23.10.
- Сатылканов Р.А. Современная динамика основных параметров климата Иссык-Кульской котловины. Журнал Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. №9, 2016. С. 23-34
- Satylkanov R. Ablation of Ice and Snow of Kara-Batkak Glacier and Its Impact on River Flow *Journal of Climate Change*, Vol. 4, No. 2 (2018), pp. 1-14.
- Vladimir V., Romanovsky V., Saadat Tashbaeva, Jean-François Crétaux, Stephane Calmant, Vanessa Drolon. The closed Lake Issyk-Kul as an indicator of global warming in Tien-Shan. *Natural Science*, Vol.5, No.5, 608-623 (2013).

Рецензент: к.ф.-м.н. Тузова Т.В.