



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Расчёт испарения с поверхности озёр антарктического
оазиса «Холмы Ларсеманна»

Исполнитель Денисова Светлана Вячеславовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н.
(ученая степень, ученое звание)

Шевнина Елена Валентиновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

В.К.
(подпись)

д.т.н., профессор
(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

«14» июня 2016г.

Санкт-Петербург
2016



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра _____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Расчёт испарения с поверхности озёр антарктического оазиса «Холмы Ларсеманна»

Исполнитель Денисова Светлана Вячеславовна

Руководитель (ученая степень, ученое звание)
Шевнина Елена Валентиновна

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«___» _____ 2016г.

Санкт–Петербург

2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.....	
1 Физико-географическая характеристика района Антарктики «Холмы Ларсеманна»	
1.1 Происхождение оазисов	
1.2 Краткая физико-географическая характеристика района.....	
1.3 Геологическое строение и рельеф.....	
1.4 Климат	
1.5 Гидрология	
2 Почвы.....	
2.1 Растительный и животный мир.....	
2.2 Антропогенное воздействие	
2.3 Методы оценки элементов водного баланса озёр.....	
2.4 Общие сведения о водном балансе	
2.5 Испарение	
2.6 Расчет по тепловому балансу поверхностного слоя воды	
3 Расчет по эмпирическим формулам	
3.1 Расчёт испарения с поверхности озёр оазиса Ларсеманна.....	
3.2 Описание озёр.....	
3.3 Исходные данные.....	
3.4 Погодные условия в период наблюдения.....	
Расчёты испарения с поверхности озёр.....	

Заключение.....	
Список литературы.....	
Приложение А.....	
Приложение Б.....	
Приложение В.....	

Введение

Крупные и мелкие озера различного происхождения широко распространены на свободных от ледника территориях антарктических оазисов. В настоящее время степень изученности озер в различных районах Антарктики неодинакова. Водный и термический режим озер слабо изучен, имеются лишь отдельные работы описательного характера, предоставляющие сведения о морфологических особенностях строения и происхождения озер, их химического состава [11]. Элементы водного баланса озер антарктических оазисов в настоящее время изучены слабо, и надежных оценок сезонной и многолетней изменчивости, основанной на данных натурных наблюдений, получено не было. Прежде всего это связано с трудностями организации и проведения экспедиционных работ в столь удаленных областях Земного шара.

В последнее время для южнополярного региона активно развиваются океанографические модели сезонного масштаба. В связи с этим, требуются надежные оценки притока пресной воды с антарктического континента [13], в том числе и за счет таяния сезонного снежного покрова, которые могут быть легко получены на основе воднобалансовых расчетов для озер, расположенных на территории антарктических оазисов. Наибольшие трудности вызывают расчеты испарения с открытой водной поверхности озер, поскольку они требуют организации специальных и трудоемких наблюдений. Однако в настоящее время не было получено даже приблизительных оценок сезонных величин испарения с водной поверхности озер на основе эмпирических формул.

Региональные краткосрочные модели прогноза погодных условий часто используют блок параметризации поверхности с учетом наличия озер, который существенно улучшают прогнозы [15]. Для включения такого блока в модель прогноза погоды чаще всего используется метод термического баланса, который позволяет интегрировать температурный режим озер (с учетом потерь тепла на испарение с водной поверхности) в общую схему

расчета поверхностной температуры воздуха, скорости ветра, влажности воздуха.

Актуальность работы продиктована практической необходимостью получения оценки элементов водного баланса для улучшения прогностических свойств океанографических моделей сезонного масштаба и краткосрочных моделей погоды.

Целью данной выпускной квалификационной работы является расчет величин испарения с открытой водной поверхности озер различной морфологии, расположенных на территории антарктического оазиса Холмы Ларсеманна.

Для выполнения цели были выделены задачи, которые необходимо решить:

- рассмотрение методов оценки испарения, имеющих наибольшее применение в воднобалансовых расчетах и выбор метода для расчета;
- сбор необходимых в соответствии с выбранным методом расчета данных и их анализ;
- расчет испарения в водной поверхности озер для двух сезонов, анализ полученных результатов.

В первой главе данной работы описаны физико-географическая характеристика интересующего района, его происхождение, климат, почвы, гидрология и антропогенное воздействие на район. Во второй главе приводятся методы оценки испарения с водной поверхности. В третьей главе выполнен анализ исходных данных и расчет испарения два двух сезонов для всех интересующих озер оазиса.

1. Физико-географическая характеристика района Антарктики «Холмы Ларсеманна»

1.1 Образование оазисов

Существование в полярных областях Земли безлёдных пространств предполагалось ещё в XIX веке. Более того, возможность существования таких участков считалась научно обоснованной. Попытки дать научное объяснение происхождения этих природных объектов появились практически сразу после их открытия, в начале XX века. Необычайность оазисов, вкрапленных в море льдов, породила множество гипотез. Так, в период эпизодических исследований широкое распространение получили геотермальные гипотезы. Известный полярный исследователь, адмирал Ричард Берд, руководитель ряда американских антарктических экспедиций, связывал возникновение оазисов с повышенным притоком тепла из недр земли. Возникли предположения о подземных угольных пожарах, процессах усиленного радиоактивного распада, вулканической деятельности. Однако первые же исследования не подтвердили этих предположений. Никаких явных проявлений внутренней энергии Земли в оазисах не обнаружено. Нужно было искать другое объяснение.

В процессе накопления данных о геологическом и геоморфологическом строении этих территорий и при анализе значения покровного оледенения американский геолог Эрл Апфел предположил, что ранее погребённая льдом земля оазиса Бангера освободилась благодаря отклонению стока льда от оазиса, низкой влажности воздуха, малой толщине снежного покрова и сильному прогреванию поверхности в летнее время. Такой сценарий был поддержан российскими учёными Г.А.Авсюком, К.К.Марковым и П.А.Шумским, назвавшими предположение Апфела орографической

гипотезой происхождения оазисов, и далее развившими её, выделив климатический фактор, влияющий на поддержание существования оазисов. Сущность орографической гипотезы заключается в том, что условия подледного рельефа вызывают отток основной массы льда от участка, к которому приток льда ослабляется. Большинство исследователей Антарктиды связывает существование современных оазисов с особенностями их расположения. Оазисы находятся в районах, куда благодаря строению подледного рельефа затруднен приток больших масс льда. Подледные долины отводят основные потоки льда в стороны от оазиса.

Орографическая гипотеза была поддержана большинством специалистов. Н.Ф.Григорьев предполагал, что постепенное освобождение ото льда отдельных наиболее приподнятых участков подледникового рельефа началось в конце четвертичного периода, когда в результате изменения климата произошло уменьшение мощности ледникового покрова и его отступление. Его гипотезу можно назвать климатической. Он также повторил предположение о «саморазвитии оазисов», выдвинутое в начале XX века. Сущность данной гипотезы заключается в следующем. Когда-то почти все оазисы, за исключением, может быть, части горных, были покрыты льдом. Оазисов к Антарктиде фактически не существовало. Значит, возникновение оазисов связано прежде всего с уменьшением размеров антарктического оледенения. Мощность ледникового щита в краевой части то возрастала, то вновь сокращалась. Именно в периоды таких сокращений размеров антарктического оледенения и возникали оазисы. Исследования на Земле Королевы Мод подтверждают эти выводы. Так, оазис Ширмахера в прошлом не менее двух раз перекрывался и вновь освобождался из-под льда.

Кроме того, как известно, оазис способен активно «бороться» с окружающим оледенением при помощи летнего теплового воздействия — оазисного эффекта. Однако этим можно объяснить только причины современного существования оазисов, но не само их возникновение.

Таким образом, вопрос образования и существования антарктических оазисов окончательно не прояснен.

1.2 Краткая физико-географическая характеристика района

Холмы Ларсеманн – это территория, свободная от ледникового покрова, с площадью 40 км² занимающая срединное положение между Холмами Вестфолд и шельфовым ледником Амери, расположившемся на юго-восточной части берега залива Прюдс (Восточная Антарктида, Земля принцессы Елизаветы). В составе этой территории имеются два крупных полуострова - Сторнес и Брокнес, а также четыре небольших мыса и более сотни небольших прибрежных островов. Самый восточный полуостров – Брокнес, который, в свою очередь, разделен на восточную и западную части фьордом Нелла. Ближайшей крупной территорией, лишенной ледникового покрова, является архипелаг Болинген, находящийся в 25 км к юго-западу, а также архипелаг Рауэр, расположенный в 60 км к северо-востоку.

пиком метаморфизмом последовала декомпрессия. Произошли многочисленные эпизоды плавления и несколько эпизодов деформации пород, а также интрузия нескольких поколений пегматитов и гранитов. Под супракрустальными породами находится протерозойский фундамент из ортогнейса с включениями ортопироксена, от которого, возможно, произошли эти породы. Холмы Ларсеманна (а также соседний архипелаг Болинген и утесы Браттстранд) отличаются от других частей залива Прюдс, главным образом, тем, что здесь нет мафических даек и крупных чарнокитовых образований.

Продолговатая форма крупномасштабных топографических объектов Холмов Ларсеманн объясняется композиционной слоистостью и наличием складок и разломов (линеamentов) в метаморфических коренных породах. Ландшафт изрезан большими, структурно контролируемыми фьордами и долинами с крутыми склонами, глубина которых редко превышает 100 м на суше, а максимальная длина составляет 3 км (залив Барри Джонс). Максимальная высота над средним уровнем моря – 162 м (пик Бланделл). Линия берега, в основном, представлена коренными породами, а пляжи встречаются только в вершинах фьордов или в изолированных замкнутых заливах. Здесь есть несколько цепочек озер, подпруженных ледниками, а также связанных с ними ущелий и аллювиальных конусов выноса. Прибрежные островки, чаще всего, представляют собой «бараньи лбы», отделенные современным морем. Этот район имеет множество геоморфологических особенностей. Здесь часто встречаются формы рельефа, образовавшиеся под воздействием ветра, хотя важную роль в отщеплении частиц, безусловно, играют лед и соль, а ветер выступает, главным образом, в роли их переносчика. Кроме того, здесь встречаются перигляциальные формы рельефа, хотя они не особенно многочисленны и не очень развиты.

1.4 Климат

Одной из важнейших характеристик климата в районе Холмов Ларсеманн является наличие постоянных сильных кatabатических ветров, дующих с северо-востока в течение большей части лета. Дневные температуры в период с декабря по февраль нередко превышают 4°C и могут быть выше 10°C , а среднемесячная температура немного выше 0°C . Среднемесячные зимние температуры составляют от -15°C до -18°C . В течение всего лета берега окружены массивными полями пакового льда, а фьорды и заливы редко освобождаются от ледового покрова. Осадки выпадают в виде снега и практически никогда не превышают 250 мм в год (в жидком эквиваленте). На полуострове Сторнес снежный покров, как правило, глубже и держится дольше, чем на полуострове Брокнес, что связано с господствующими северо-восточными ветрами и наличием у берегов полуострова Сторнес многолетнего морского льда, который удерживается островами.

1.5 Гидрология

В районе Холмов Ларсеманна находится более 150 озер – от пресноводных до слегка соленых по уровню солености и от мелководных до крупных, углубившихся под воздействием ледников, по размеру. Правда, в большинстве своем, это небольшие ($5000\text{--}30000\text{ м}^2$) и мелкие (2–5 м) озера. Поверхность всех этих озер замерзает зимой, но летом большинство из них оттаивает на период до 2 месяцев, благодаря чему, они хорошо перемешиваются под влиянием постоянных кatabатических ветров. Большинство озер питаются талыми снежными водами, а у некоторых есть постоянные летние водотоки, которые впадают в них и вытекают из них и являются местом обитания различных ракообразных. Такие водотоки наиболее заметны на полуострове Сторнес.

Озера Холмов Ларсеманна особенно чувствительны к антропогенным воздействиям вследствие небольшого размера водосборных территорий и практически первозданной чистоты вод. Проведенные исследования показали, что в некоторых озерах восточной части полуострова Брокнес в непосредственной близости от станций и связывающей их сети дорог изменилась химия воды и наблюдается приток питательных веществ, талой воды и отложений. Но при том, что воздействие человека на эти озера очевидно, большинство озер на полуострове Брокнес и в других частях Района, в целом, остаются нетронутыми.

Озера в восточной части полуострова Брокнес имеют самую давнюю историю донных отложений среди всех поверхностных озер Антарктики. Похоже, что ледниковый щит никогда не продвигался дальше озера Нелла и не вычищал озеро Прогресс, в том числе эти озера, а также те, что расположены ближе к северной оконечности полуострова, представляют особую ценность для научного сообщества.

1.6 Почвы

Настоящих почв здесь совсем нет из-за отсутствия почвообразующих химико-биологических процессов. Здесь встречаются поверхностные отложения, однако они ограничиваются низменными участками и представлены снежниковым гравием, частицами, нанесенными ветром, делювием и аллювиальными отложениями. Очень тонкий слой почв (менее 10 см) можно встретить в районе редких пятен мха и прерывистого лишайникового покрова. На глубине 20-70 см начинается слой вечной мерзлоты. На северо-востоке п-ова Сторнес в точке с координатами примерно 69° 31'48" ю.ш., 76° 07'в.д. есть выход постдепозиционных плиоценовых морских отложений (4,4-3,8 млн лет назад). Эти отложения, максимальная толщина которых составляет 40 см, занимают узкий уступ на высоте около 55 м над уровнем моря и содержат множество хорошо сохранившихся

фораминифер и не столь хорошо сохранившихся диатомей и моллюсков. На полуострове Брокнес на тех участках, которые оставались свободными от ледникового покрова в течение последнего ледникового максимума, есть осадочные отложения (в озерах), свидетельствующие о климатических, биологических и экологических изменениях в течение последнего ледникового цикла.

1.7 Растительный и животный мир

Как показали образцы, собранные на прибрежной территории от Холмов Вестфолд до Холмов Ларсеманн, флора Берега Ингрид Кристенсен относительно однообразна и ограничивается одинаково распространенными бриофитами, лишайниками и наземными водорослями. Несмотря на немногочисленность имеющихся коллекций, принято считать, что небольшой размер растительного покрова – менее 1% всей территории Холмов Ларсеманн – объясняется характером породы 8 фундамента, относительно недавним высвобождением из-под ледниковой шапки и господствующим направлением ветра в заливе Прюдс. В окрестностях станционных зданий встречались пять интродуцированных видов сосудистых растений, что свидетельствует о возможности интродукции видов в местную среду. Большая часть наземной биоты, включая мхи, лишайники и связанных с ними беспозвоночных, встречаются в глубине суши подальше от берега. Тем не менее, на больших островах (особенно на островах Колуй и Сигдуй) на защищенных от ветра участках, связанных с местами линьки пингвинов Адели, а также на юго-западных нунатаках есть крупные моховые подстилки. Лишайниковый покров весьма значителен на северо-востоке п-ова Сторнес и в районе гряды Лоу на полуострове Брокнес, а в состав лишайниковой флоры этой территории входят, как минимум, 25 четко идентифицированных видов. И хотя регулярные исследования в этом районе не проводились, результаты аналогичных работ, проведенных в соседних районах на территории Берега

Ингрид Кристенсен, говорят о том, что Холмы Ларсеманн могут быть местом обитания почти 200 таксонов неморских водорослей и 100–120 таксонов грибов.

Наземные беспозвоночные, обитающие на территории Холмов Ларсеманн, плохо изучены. Известно, что в этом районе на участках, где есть растительность, наземные тихоходки. Озера и водотоки служат средой обитания для богатой и разнообразной фауны, весьма характерной для антарктического региона.

На побережье Холмов Ларсеманн обитают многочисленные тюлени Уэдделла. В настоящее время их местонахождение и численность точно неизвестны, хотя щенящиеся самки были замечены на морском ледяном покрове вблизи небольших островков к северо-востоку от восточной части полуострова Брокнес, а группы линяющих тюленей устраивали залежки вблизи берегов полуострова Брокнес в окрестностях станций, а также в приливных трещинах фьордов с западной стороны. Как показала аэрофотосъемка, проведенная в период линьки, численность тюленей превышала 1000 особей, причем многочисленные залежки крупных групп (по 50–100 тюленей) наблюдались во фьорде Тала и на поверхности наслоенного льда, примыкающего с запада к полуострову Сторнес, а множество более мелких групп располагались между прибрежными островками и на поверхности льда к северо-востоку от полуострова Брокнес. Иногда здесь бывают также тюлени-крабеды и морские леопарды.

1.8 Антропогенное воздействие

Деятельность человека в районе Холмов Ларсеманн всегда была и сейчас сосредоточена в восточной части полуострова Брокнес, где в непосредственной близости друг от друга расположены три станции. За пределами п-ова Брокнес очень мало следов человеческого присутствия: единственными заметными искусственными объектами являются вешки,

используемые как ориентиры при проведении топографических обследований и фотосъемки. Сохранение такого ненарушенного состояния является главной задачей управления в районе Холмов Ларсеманн.

Первоначальный период активной деятельности человека (1986-1989 гг.) и последующие научно-логистические операции в этом районе привели к заметному локальному изменению окружающей среды, прежде всего в восточной части полуострова Брокнес. В результате строительства станционных 2 зданий и связанных с ними сооружений, а также организации подъездов к станциям в восточной части полуострова Брокнес произошла физическая деградация поверхности, свободной от ледникового покрова. Под воздействием регулярного использования наземных транспортных средств породы раскрошились и обнажился слой вечной мерзлоты, что вызвало поверхностную эрозию и изменило характер стока. В результате случайных разливов углеводородного топлива и сброса сточных вод на поверхность грунта произошло химическое загрязнение некоторых озер и почв. Были обнаружены (и вывезены) несколько видов интродуцированных растений, и есть факты, свидетельствующие о том, что дикие животные питаются продуктами, оставшимися после человека. Кроме того, в западной части п-ова Брокнес обнаружен перенесенный ветром мусор и наблюдается нарушение поверхности под воздействием регулярного движения пешеходов. На полуострове Сторнес, небольших мысах и прибрежных островках люди бывали нечасто, и здесь нарушения менее значительны.

2 Методы оценки элементов водного баланса озёр

2.1 Общие сведения о водном балансе

Водный баланс количественно характеризует соотношение поступления воды в водоем и потери ее из него за некоторый промежуток времени.

По водному балансу водоёмы делятся на сточные, каждый из которых дает начало водотоку, и бессточные, теряющие воды только путем испарения. Промежуточную группу составляют водоемы с перемежающимся стоком.

Уравнение водного баланса можно представить в следующем общем виде:

$$\sum \Pi - \sum P = \sum A + H, \quad (2.1)$$

где

$\sum \Pi$ - сумма приходных компонентов баланса,

$\sum P$ - сумма расходных компонентов,

$\sum A$ - сумма аккумуляционных компонентов,

H - невязка баланса, зависящая от точности расчёта его компонентов.

Учитывая составляющие приходной и расходной части водного баланса и выразив их в объёмных единицах, его уравнение для сточного озера можно представить в виде:

$$X + Y_{\text{пр}} + Y_{\text{гр}} + K - Y_{\text{ст}} - Y_{\text{ф}} - E - P = \pm \Delta V + H, \quad (2.1)$$

где

X - атмосферные осадки на зеркало озера,

$Y_{\text{пр}}$ - поверхностный приток в озеро,

$Y_{\text{гр}}$ - подземный приток в озеро,

K - конденсация водяных паров на зеркало,

$Y_{\text{ст}}$ - поверхностный сток из озера,

$Y_{\text{ф}}$ - подземный сток (фильтрация) из озера,

E - испарение с водной поверхности,

P - забор воды из озера для различных хозяйственных целей,

ΔV - изменение объёма воды озера за расчётный период времени (при выражении составляющих баланса в виде слоя заменяется изменением уровня воды ΔH)

В уравнении водного баланса для бессточного озера не будет составляющих $Y_{\text{ст}}$ и $Y_{\text{ф}}$. Поскольку при полевых исследованиях определить подземные составляющие водного баланса обычно не удастся, принято считать бессточными озёра, не дающие начала водотокам.

Величина конденсации (K) мала по сравнению с другими составляющими баланса и трудно поддается учету; при расчетах ей обычно пренебрегают.

В данной работе главной составляющей является испарение, о нём и его методах и пойдёт речь.

2.2 Методы расчета испарения

В настоящее время для практической оценки испарения с водоемов предложены различные методы, однако их общим недостатком является низкая точность. С одной стороны, это связано с ограниченным применением строгих физических подходов при оценке испарения в точке из-за невозможности прямо определить многие необходимые исходные данные. А с другой — со сложностью пересчета значений испарения, полученных для отдельных точек, на водоем в условиях значительной изменчивости процессов тепловлагопереноса по акватории водоема. Единственным способом, позволяющим сразу получить интегральное значение испарения с водоема без необходимости осреднения полей тех или иных элементов тепло или

лагообмена, является метод расчета испарения из уравнения водного баланса. Этот метод можно применять при расчетах среднего многолетнего годового и месячного испарения с поверхности озер и водохранилищ в тех случаях, когда абсолютные значения испарения сопоставимы с другими составляющими водного баланса. При расчетах за конкретные годы и тем более месяцы использование этого метода существенно ограничено, так как невозможно соблюдать главное условие его применения — надежность определения всех остальных элементов водного баланса, в том числе и таких трудно учитываемых, как: подземный водообмен, конденсация, изменение запасов воды в водохранилище под влиянием хозяйственной деятельности и т. д. Далее рассмотрены методы оценки испарения, имеющие наибольшее применение в воднобалансовых расчетах.

2.2.1 Расчет по тепловому балансу поверхностного слоя воды

Среди методов, основанных на учете потоков тепла и влаги в приводном слое, чаще всего применяют методы теплового баланса и турбулентной диффузии. Для оценки испарения с водохранилищ, особенно речного типа, более целесообразно применять первый из этих методов. Расчет осуществляют по следующей зависимости:

$$E = \frac{0,615 * 10^{-2} (R - \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_r)}{1,55 + \Delta t / \Delta e}, \quad (2.2.1)$$

где

R - радиационный баланс, Дж/см²;

ΔS_1 - изменение теплозапаса водной массы за расчетный интервал времени, Дж/см²,

ΔS_2 - разница между поступлением тепла с притоком воды в водохранилище и удалением тепла со стоком воды из него, Дж/см²;

ΔS_r - теплообмен с грунтом дна водоема, Дж/см²;

Δt - разность температуры воды и воздуха, °C;

$\Delta e = (e_0 - e_2)$ — разность парциального давления водяного пара у поверхности воды и на высоте 2м над ней, гПа.

Преимущества использования метода теплового баланса для оценки испарения с речных водохранилищ заключаются в следующем:

1. Расчет ведут с учетом тепловых потоков, поступающих в водоем с притоком и теряемых со стоком из него.
2. Для выполнения расчетов по уравнению (2.2.1) достаточно располагать стандартной сетевой гидрометеорологической информацией и данными о радиационном балансе водной поверхности. Разница между радиационным балансом суши и прилегающей водной поверхности для месяцев теплового периода не превышает 5 %, т. е. использование данных по радиационному балансу суши не может привести к существенным погрешностям при расчете по зависимости (2.2.1)

Некоторые сложности при использовании уравнения теплового баланса связаны с расчетом ΔS_r . Этот параметр невозможно надежно определить без проведения весьма трудоемких специальных работ. Поэтому на практике им или пренебрегают, или применяют косвенные методы его оценки. При этом принимают во внимание тот факт, что вклад этого параметра в суммарный тепловой поток незначителен и составляет в большинстве случаев не более 1 % значения радиационного баланса.

Расчет испарения по методу турбулентной диффузии требует определения коэффициента турбулентного обмена. Несмотря на большое число формул, предложенных для оценки этого коэффициента, они не обеспечивают необходимой точности его определения для водохранилищ.

2.2.2 Расчет по эмпирическим формулам

Для расчета испарения с водной поверхности широко распространены эмпирические формулы. В подавляющем большинстве случаев они довольно просты и, что самое главное, основаны на использовании стандартной

гидрометеорологической информации. В основе большинства эмпирических формул, предложенных для расчета испарения с водной поверхности, лежит учет выявленного Дальтоном факта пропорциональности испарения разности парциального давления водяного пара над этой поверхностью. Разнообразные расчетные зависимости, основанные на законе Дальтона, имеют следующую структуру:

$$E = b(e_0 - e_2)\varphi(w), \quad (2.2.2.1)$$

где

$\varphi(w)$ - некоторая функция скорости ветра;

b - коэффициент, суммарно учитывающий влияние на процесс испарения ряда других факторов, не входящих в формулу (2.2.2.1).

В конце 60-х годов В. И. Кузнецов, В. С. Голубев и Т. Г. Федорова предложили формулу для расчета среднемесячного испарения с водной поверхности:

$$E = 0,14n(e_0 - e_2)(1 + 0,72w_2), \quad (2.2.2.2)$$

где

e_0 - среднее значение максимальной упругости водяного пара, определенное по температуре поверхности воды в водоеме, в мб, (определяется по таблице максимальной упругости водяного пара);

e_2 - среднее значение упругости водяного пара (абсолютной влажности воздуха) над водоемом на высоте 2 м, в мб;

w_2 - среднее значение скорости ветра над водоемом на высоте 2 м, в м/сек;

n - число суток в расчетном интервале времени.

Средняя влажность воздуха над водоемом на высоте 2 м рассчитывается по формуле:

$$e_2 = e'_2 + (0,8e_0 - e'_2)M$$

где:

e'_2 - средняя за расчетный интервал времени влажность воздуха, измеренная на континентальной метеостанции, в мб;

e_0 - максимальная упругость пара за этот же интервал времени, определенная по температуре поверхности воды в водоеме по таблице, в мб;

M - коэффициент трансформации, принимаемый по таблице значений коэффициента трансформации в зависимости от средней длины разгона воздушного потока (среднее взвешенное расстояние по водному зеркалу с учетом повторяемости направлений ветра и разности между температурой воды в водоеме) и температурой воздуха на метеостанции для одной из трех градаций значений разности $(t_0 - t'_2)$.

Средняя температура воздуха над водоемом на высоте 2 метра t_2 рассчитывается по формуле:

$$t_2 = t'_2 + (t_0 - t'_2)M$$

где:

t'_2 - средняя за расчетный интервал времени температура воздуха на метеостанции;

t_0 - температура поверхности воды;

M - коэффициент трансформации.

Величины максимальной упругости, абсолютной влажности воздуха и скорости ветра принимаются средними за месяц и осредняются для всех точек наблюдений над акваторией водоема.

При отсутствии данных о максимальной упругости водяного пара, абсолютной влажности воздуха и скорости ветра над водоемом значения этих элементов рассчитываются по материалам наблюдений на ближайших от водоема метеорологических станциях.

Данную формулу применяют при равновесной стратификации, когда разность значений температуры воды и воздуха составляет 2—4°C.

При неравновесной стратификации атмосферы над водоемом расчетные формулы предложены В. А. Рымшей и Р. В. Донченко:

$$(K\Delta t + w_2), \quad (2.2.2.3)$$

где

$K\Delta t$ - коэффициент, зависящий от разности температуры поверхности воды и воздуха.

Формула Браславского и Нургалиева имеет следующий вид:

$$E = 0,14n(e_0 - e_2)[1 + 0,8w_2 + \varphi(\Delta t)], \quad (2.2.2.4)$$

Контрольные расчеты испарения, выполненные по всем указанным формулам, для 35 испарительных бассейнов и месячных интервалов времени показали, что наименьшую среднеквадратическую погрешность (12,5%) имеет формула (2.2.2.2.), которая и рекомендована в настоящее время в качестве расчетной.

Все упомянутые эмпирические формулы основаны на законе Дальтона, т. е. учитывают термодинамические аспекты испарения. Следует отметить, что надежность расчетов по всем указанным эмпирическим формулам значительно зависит от надежности определения входящих в них элементов. Все элементы, входящие в эти расчетные формулы, должны быть определены для водной поверхности. Вследствие того, что в большинстве случаев такая информация отсутствует, при выполнении массовых расчетов по указанным формулам приходится использовать данные о метеоэлементах, полученных на континентальных станциях, с последующим пересчетом этих данных на водоем.

3 Расчёт испарения с поверхности озёр антарктического оазиса «Холмы Ларсеманна»

3.1 Описание озёр

Исследуемые озера располагаются на севере полуострова Брокнес, их краткие морфологические характеристики приведены в таблице 3.1. Основным источником питания озёр являются воды от таяния ледников и воды, образованные за счёт таяния сезонного снежного покрова.

Таблица 3.1 - Морфометрические характеристики озёр

Точка	Озеро	Высота над уровнем моря, м	Глубина, м	Период наблюдений	Площадь пов-ти, $10^3 \cdot \text{м}^2$	Площадь водосбора, км^2	Координаты озера
LA01/LH68	Степпед	5	4,5	26.12. 2012 – 1.02. 2013 4. 01. 2014 – 5.03. 2014	50	0.57	76°23' E 69°23' S
LA03/LH58	Сибхорп	60	0,7	25.12. 2012 – 28.01. 2013 5.01.2014 – 10.03. 2014	120	0.82	76°24' E 69°24' S
LA05/LH57	Прогресс	65	34	6.01. 2014 – 7.03. 2014	100	0,39	76°24' E 69°24' S
LA06/LH71	Сара Тарн	75	2,5	26.12. 2012 – 29.01. 2013 18.01. 2014 – 7.03. 2014	10	0,05	76°23' E 69°23' S
LA08/LH72	Скандрет	15	8,2	1.01. 2014 – 9.03. 2014	130	2,59	76°22' E 69°24' S
LA09/LH70	Рейд	30	3,8	5.01 2014 – 8.03. 2014	50	0,19	76°23' E 69°23' S



Larsemann Hills Detail of Northern Broknes

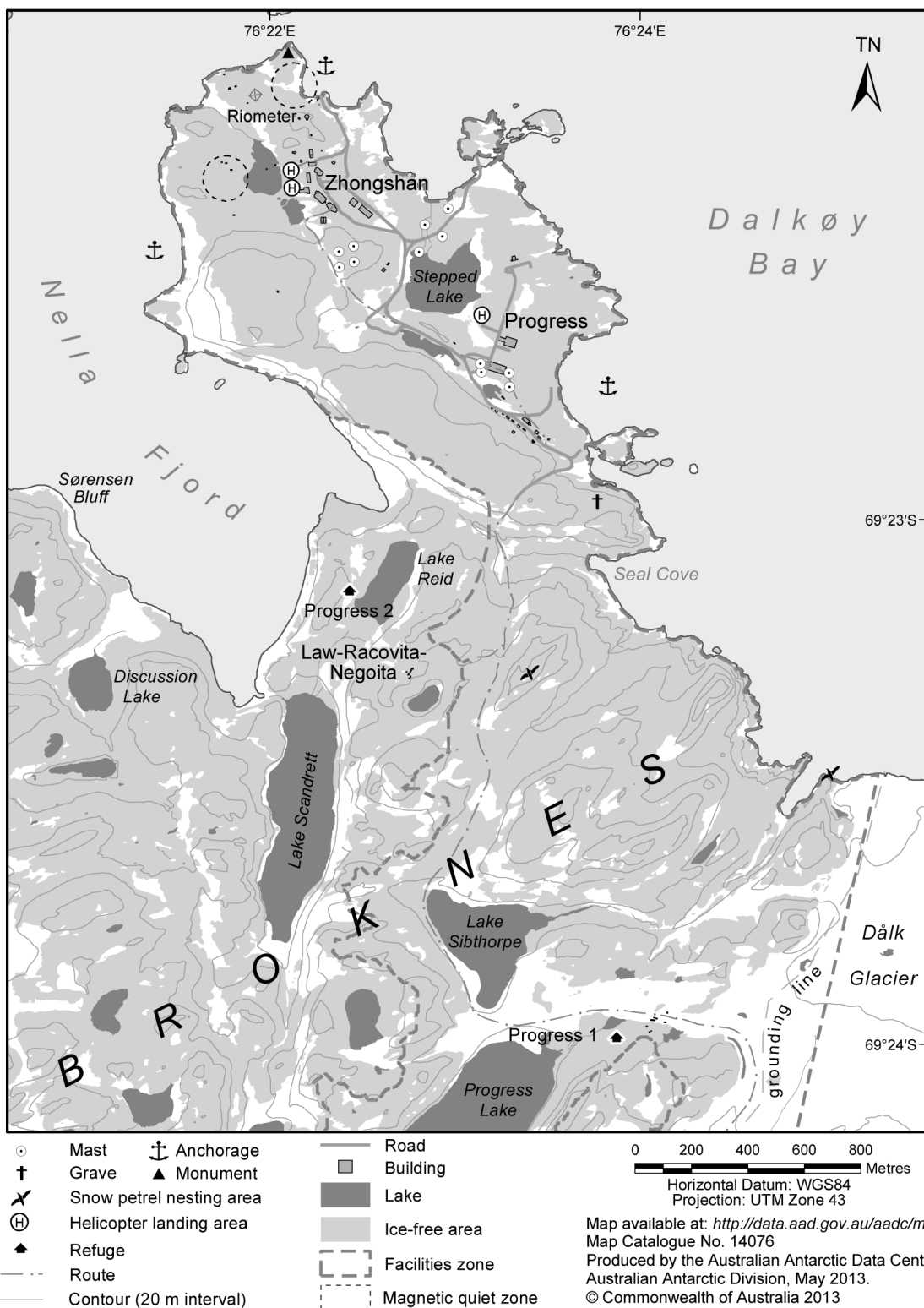


Рисунок 3.1 –Расположение озёр в Холмах Ларсеманн.

Озеро Степпед расположено северо-западнее метеорологической станции «Прогресс» и юго-восточнее метеорологической станции «Зонг Шан» на высоте 5 метров над уровнем моря, имеет глубину 4,5 метра и площадь поверхности, равную 50 тысячам м², а также небольшие прибрежные лагуны. В отличие от других озёр, питание которых обусловлено водами от таяния ледника, в Степпед приток воды формируется только за счет таяния сезонного снежного покрова.

Степпед имеет более высокую относительно других озёр температуру воды, составляющую приблизительно 9.0-10.0 °С и освобождается от ледяного покрова уже к концу декабря — началу января.

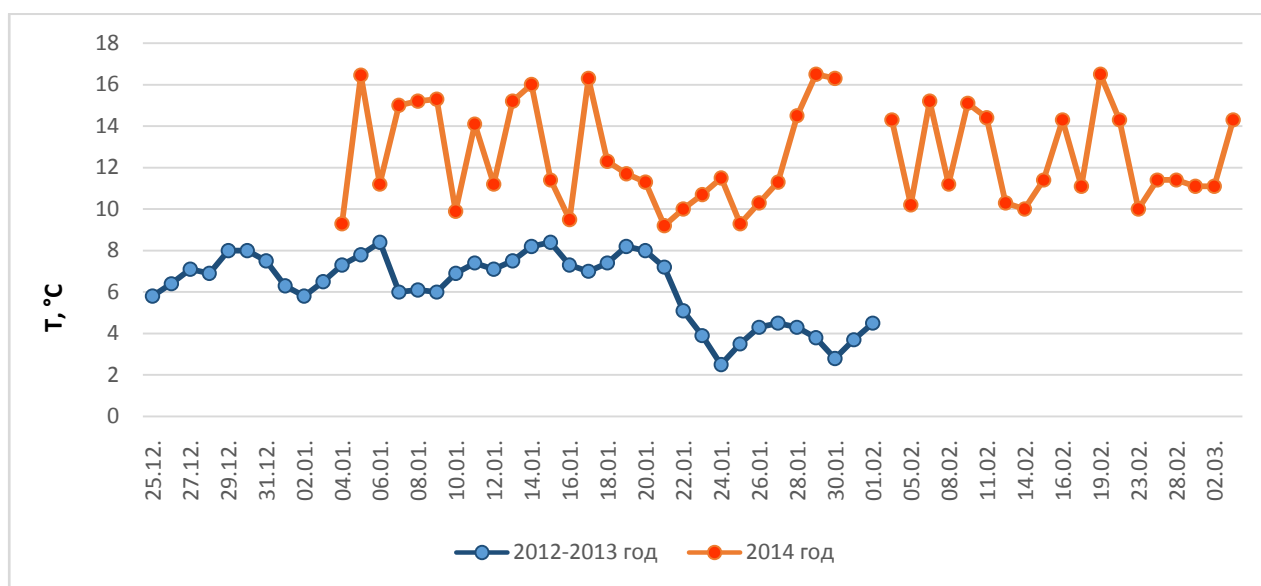


Рисунок 3.2 – Ход температуры воды на озере Степпед.

Сибхорп находится южнее метеостанций «Прогресс» и «Зонг Шан», высота составляет 60 метров над уровнем моря, а средняя глубина всего 0,7 метра при площади поверхности 120 тысяч м².

Озеро Сибхорп вместе с озером Прогресс образуют одноимённую систему «Прогресс – Сибхорп»: вода с ледника сперва поступает в озеро Прогресс, и далее (при наличии благоприятных погодных условий) в озеро Сибхорп и через руч. Каньонная в бухту Восточная.

В озере наблюдается наличие небольшого количества водорослей, а также достаточно большое количество донных отложений, из которых 99,7% приходится на песок, а 0,29% на гравий.

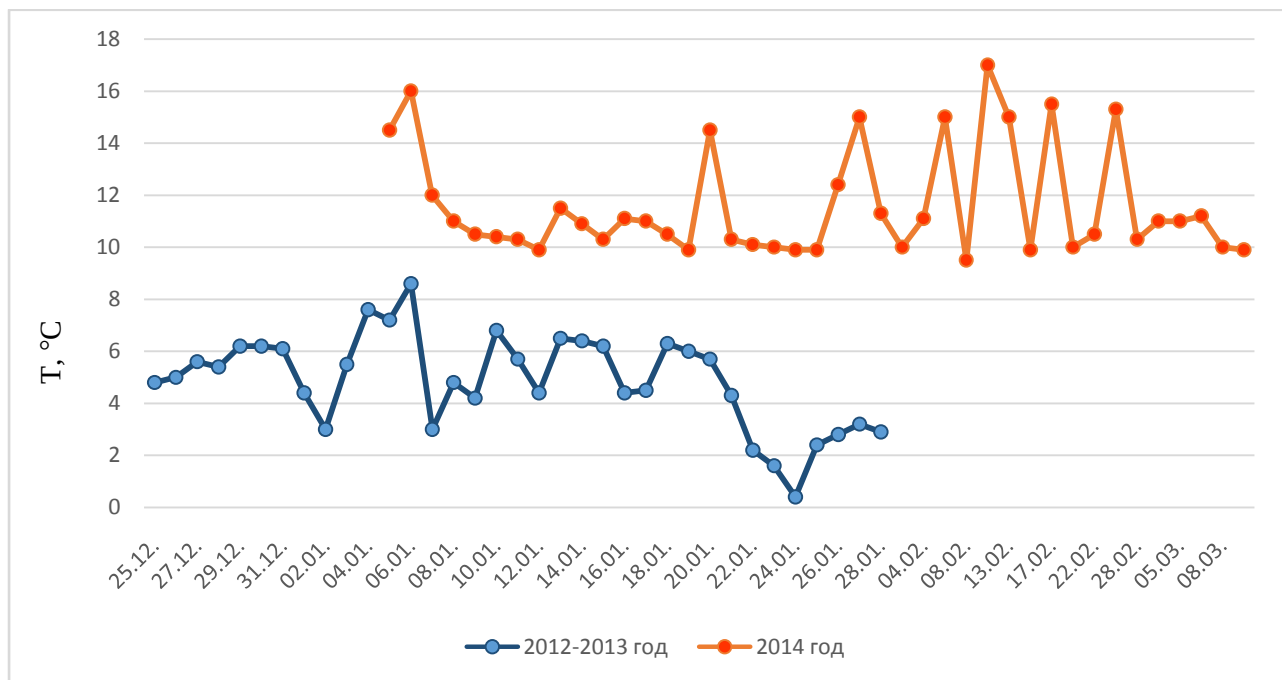


Рисунок 3.3 – Ход температуры воды на озере Сибхорп.

Как и озеро Сибхорп, Прогресс находится южнее обеих метеостанций, его высота над уровнем моря составляет 65 метров, а максимальная глубина достигает отметки 34 метра. Площадь поверхности озера равна 100 тысячам м².

Озеро Прогресс входит в описанную выше систему «Прогресс – Сибхорп», питание которой осуществляется за счет поступления воды при таянии ледника Долкс, который в свою очередь расположен в восточной части полуострова.

На дне озера наблюдаются отложения гравия и песка, процентное соотношение которых соответственно 0,13% и 99,86%.

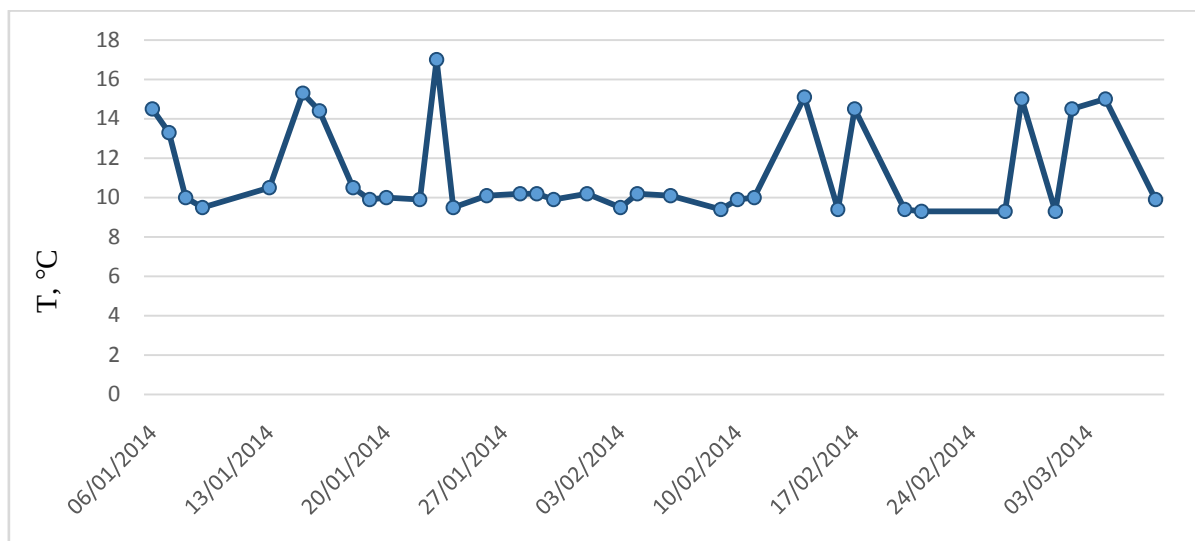


Рисунок 3.4 – Ход температуры воды на озере Прогресс.

Озеро Сара Тарн располагается южнее метеостанции «Зонг Шан», неподалеку от станции «Прогресс». Высота озера над уровнем моря составляет 75 метров, а средняя его глубина около 2,5 метров. Это небольшое озеро, площадь водной поверхности которого равна всего лишь 10 тысяч м². На дне озера имеется изрядное количество донных отложений.

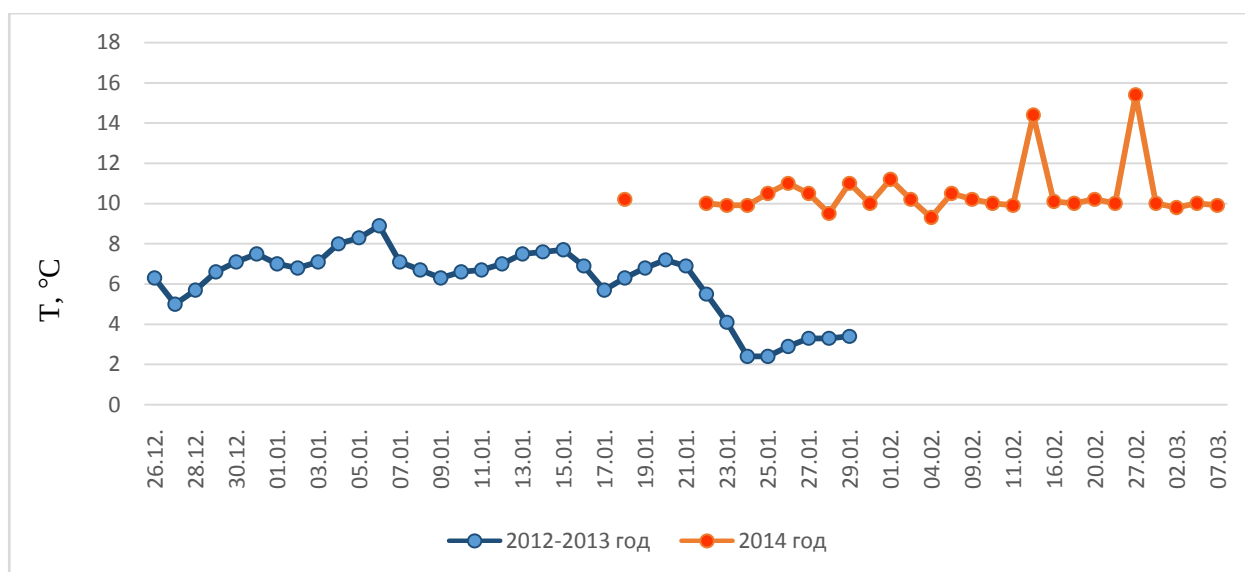


Рисунок 3.5 – Ход температуры воды на озере Сара Тарн.

Скандрет находится между озёрами Рейд и Сибхорп на высоте 15 метров над уровнем моря, имеет среднюю глубину 8,2 метра, а площадь его водной поверхности составляет 130 тысяч м².

Озеро Скандрет является наиболее холодным, в связи с тем, что вода в него поступает непосредственно с ледника по небольшому ручью длиной около полутора километров. Температура воды в озере на момент начала января составляет около 4.5-5.0 °С, а ледовый покров занимает около 80 % площади водной поверхности.

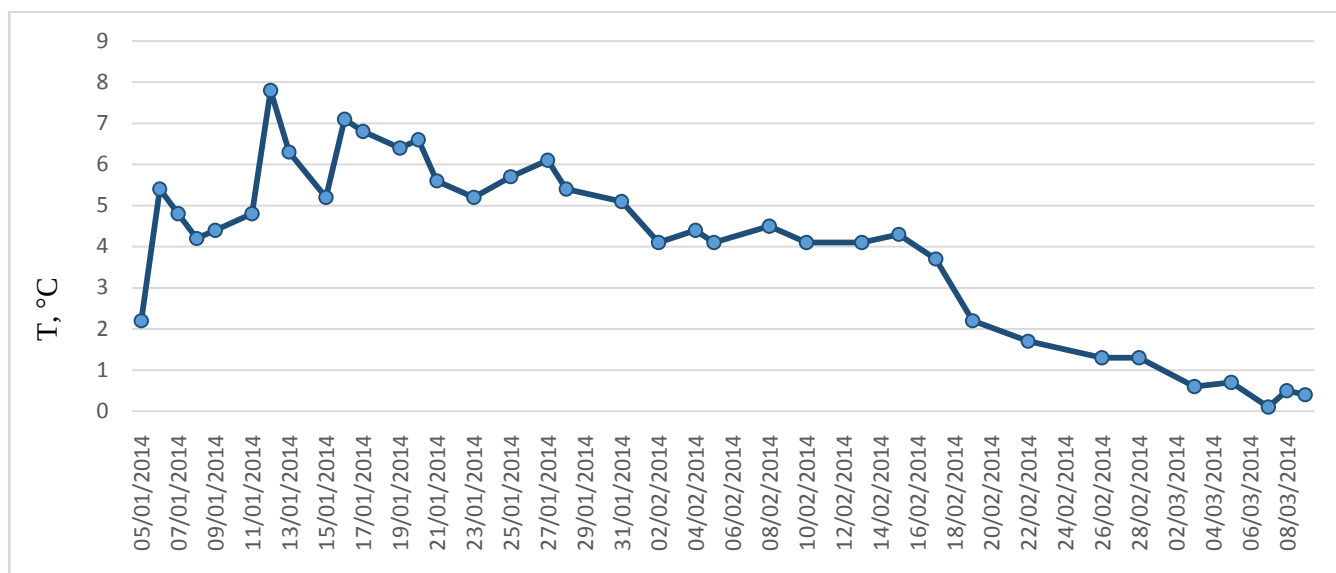


Рисунок 3.6 – Ход температур воды на озере Скандрет.

На высоте 30 метров над уровнем моря и неподалёку от станции «Прогресс» находится небольшое бессточное озеро Рейд, площадь поверхности которого составляет 50 тысяч м², а глубина 3,8 метра, которое постоянно существует в небольших понижениях рельефа. Его питание происходит за счет снежного покрова, как и у озера Степпед.

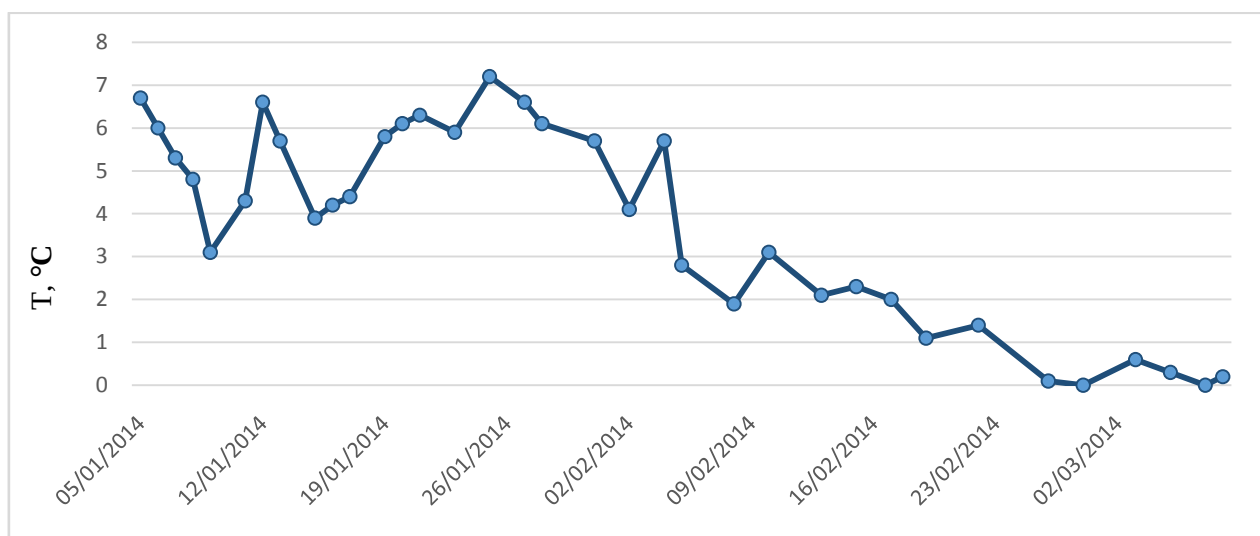


Рисунок 3.7 – Ход температур воды на озере Рейд.

Анализируя графики хода температуры воды на озерах Степпед, Сибхорп, Сара Тарн совмещенных за 2012-2013 и 2014 года можно отметить, что температура воды за 2014 г существенно выше, чем температура за 2012-2013 год – средняя температуры воды за рассматриваемый период различается примерно в два раза. Так же можно отметить, что ход температуры за 2014 год отличается наличием большего количества и более резких перепадов температуры.

3.2 Исходные данные

Для расчета испарения с водной поверхности озера необходимы следующие исходные данные: температура воды озера, температура воздуха и влажность на метеостанции, скорость ветра на метеостанции и его повторяемость по румбам за 2012-2013 и 2014 гг. Указанные метеорологические характеристики берутся за период открытой воды, так как нас интересует только испарение с водной поверхности.

Для поиска необходимых исходных данных использовались архивы погоды по научно-исследовательским станциям «Зонг Шан» и «Прогресс», расположенные в сети интернет. При этом для расчета испарения использовались данные российской станции «Прогресс», а данные китайской станции «Зонг Шан» использовались для сравнения климатических характеристик на этих станциях. Более подробно об этом написано в следующем пункте.

Таблица 3.3 - Статистика по температурам воды.

Озеро	Период	Температура водной поверхности [° C]			
		Средняя	Мин.	Макс.	ΔT
Stepped	26.12.2012 – 1.02.2013 4.01.2014 – 5.03.2014	9,6	2,5	16,5	14
Sibhorpe	25.12.2012 – 28.01.2013 5.01.2014 – 10.03.2014	8,3	0,4	15,5	15,1
Progress	6.01. 2014 – 7.03.2014	11,3	9,3	17	7,7
Sarah Tarn	26.12.2012 – 29.01.2013 18.01.2014 – 7.03.2014	7,9	2,4	15,4	13
Scandrett	1.01.2014 – 9.03.2014	4,1	0,1	7,8	7,7
Reid	5.01.2014 – 8.03.2014	3,8	0	7,2	7,2

Как видно из таблицы 3.2, несмотря на относительно короткий период открытой воды, некоторые озера достаточно сильно нагреваются – например, максимальная температура в озере Прогресс составила 17°C, но при этом и минимальная температура этого озера достаточно велика, что дает сравнительно не большую амплитуду колебания температуры воды, в отличие, например, от озера Степпед.

3.3 Погодные условия

Метеорологическая станция «Прогресс» - это российская научно-исследовательская антарктическая станция, работающая круглый год и находящаяся на берегу залива Прюдс. Она размещена на песчано-каменистой возвышенности, располагающейся на высоте 15 метров над уровнем моря. Восточнее станции расположены холмы Ларсеманна. Климатические условия на «Прогрессе» достаточно мягкие по сравнению с другими близкими станциями, находящимися на берегу. Самым теплым месяцем является декабрь, а самым холодным – июль. Климатическая норма осадков за летний

сезон здесь составляет 8,9 мм, а средняя температура воздуха -0,6 градуса Цельсия. Средняя скорость ветра равно 6,1 м/с.

Средние сезонные значения этих метеорологических элементов (Таблица 3.2), взятых за сезоны 2012-2013 и 2014 годов значительно отличаются от приведённых выше климатических значений. Недалеко от станции «Прогресс» находится китайская научно-исследовательская станция «Зонг Шан». Климат на этих станциях практически не отличается.

Таблица 3.2 – Средние значение метеорологических величин

Сезон	Станция	Средняя температура воздуха, [C]	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя облачность, %	Среднее количество осадков, мм
2012-2013	Прогресс	0,7	3,8	69,4	0,5
	Зонг Шан	1,1	4,1	68,1	0,5
2014	Прогресс	-2,9	5,6	61,5	0,2
	Зонг Шан	-3,1	6,1	69,7	0,3

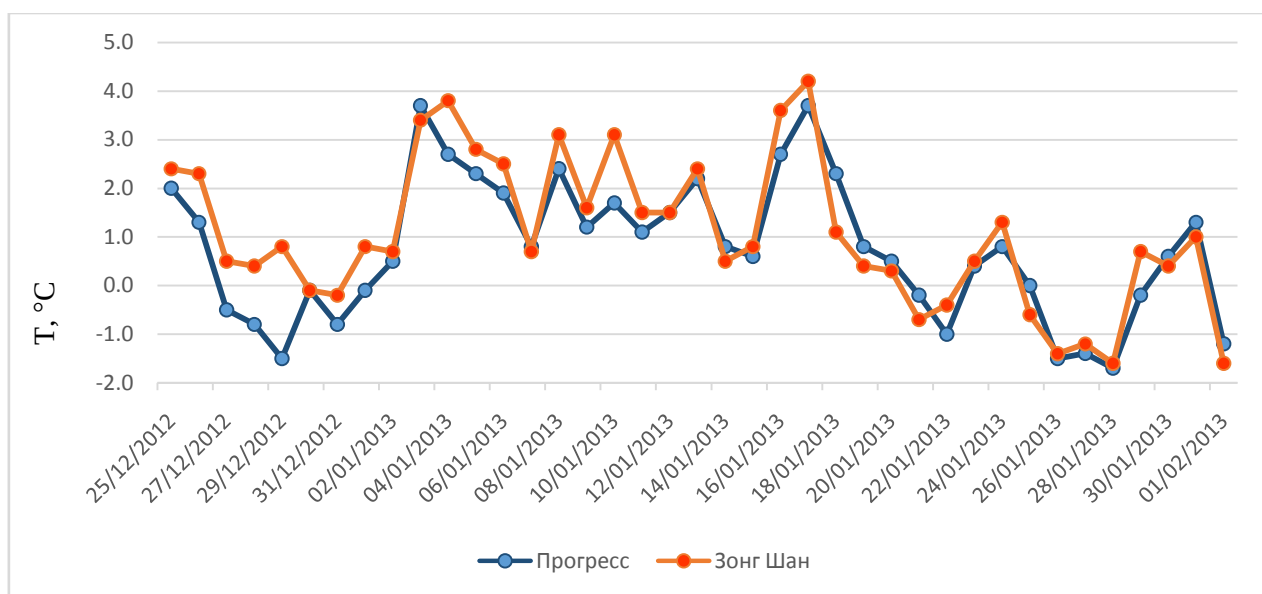


Рисунок 3.8 – Температура воздуха за период 2012 – 2013 года.

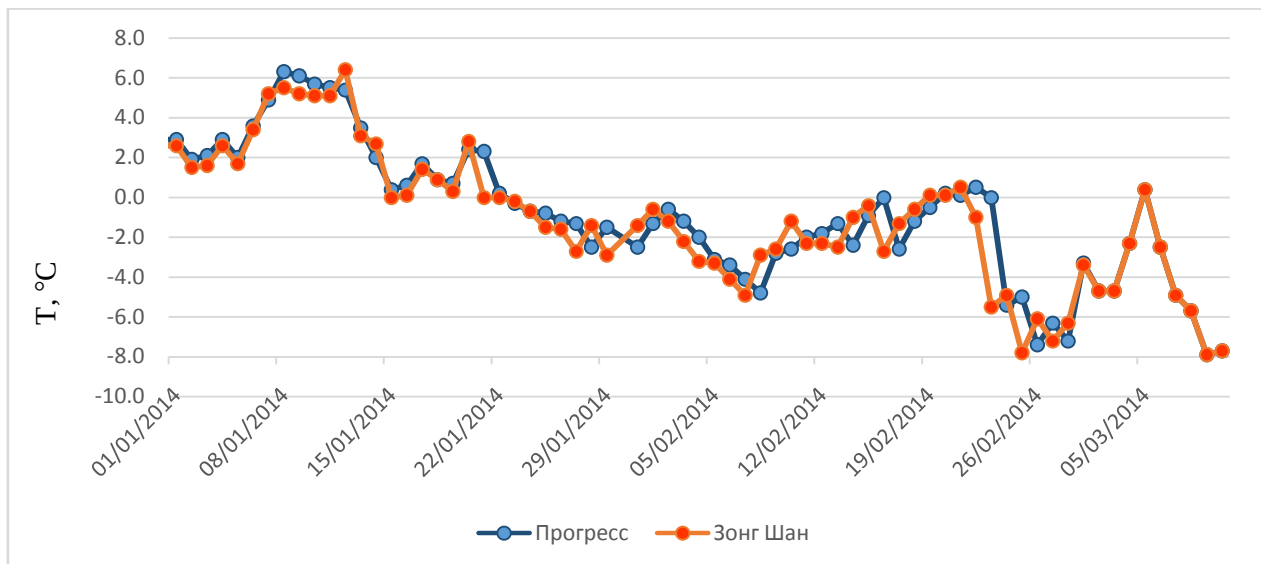


Рисунок 3.9 – Температура воздуха за период 2014 года.

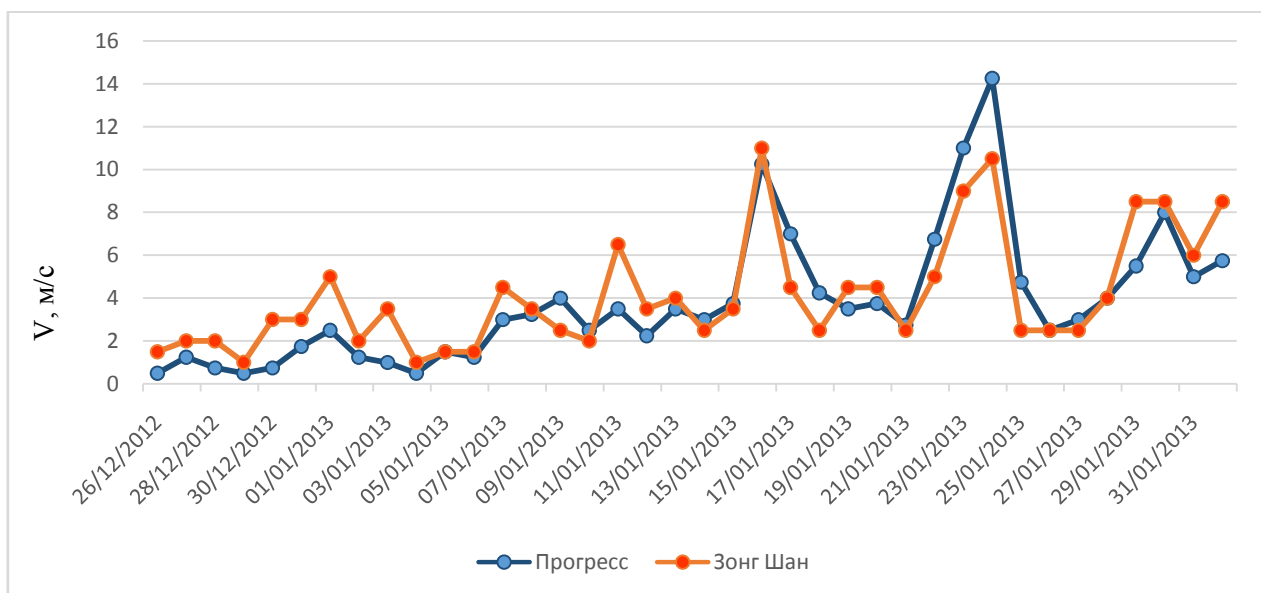


Рисунок 3.10 – Скорость ветра за период 2012 – 2013 года.

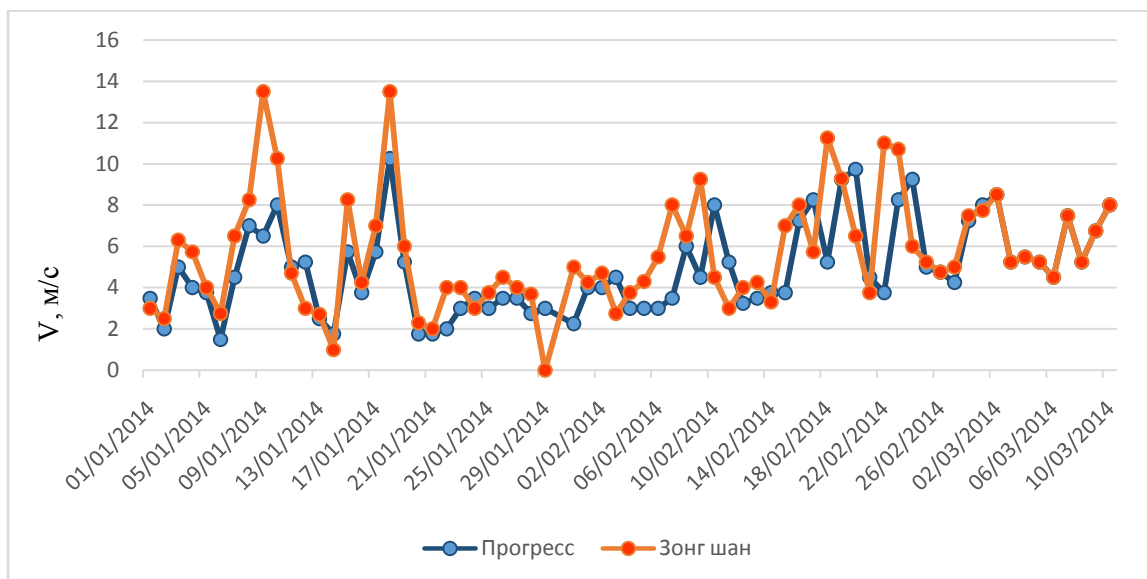


Рисунок 3.11 – Скорость ветра за период 2014 года.

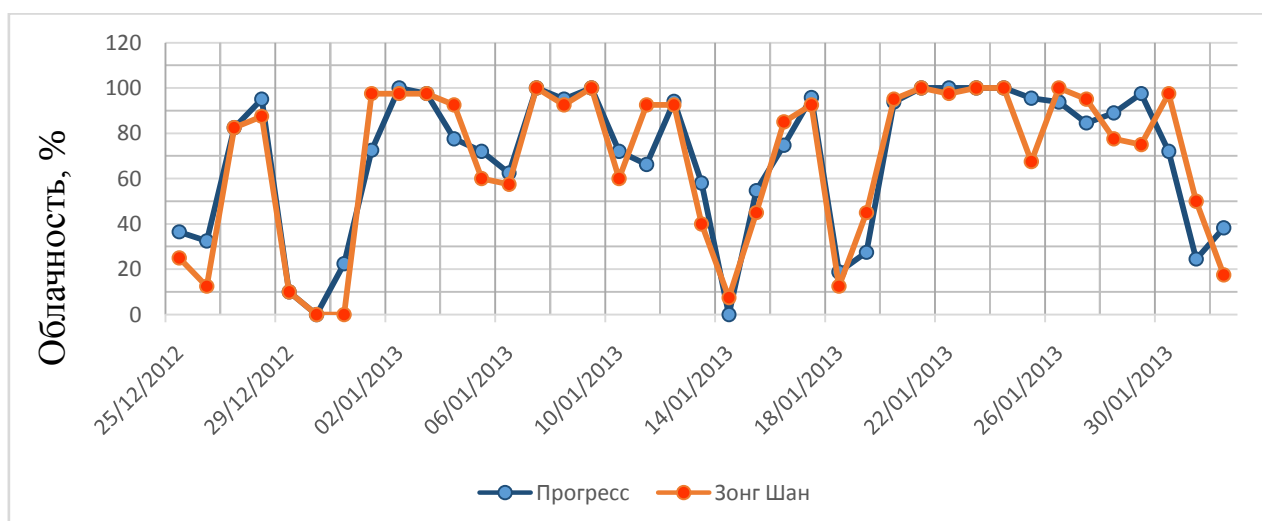


Рисунок 3.12 – Облачность за период 2012 – 2013 года.

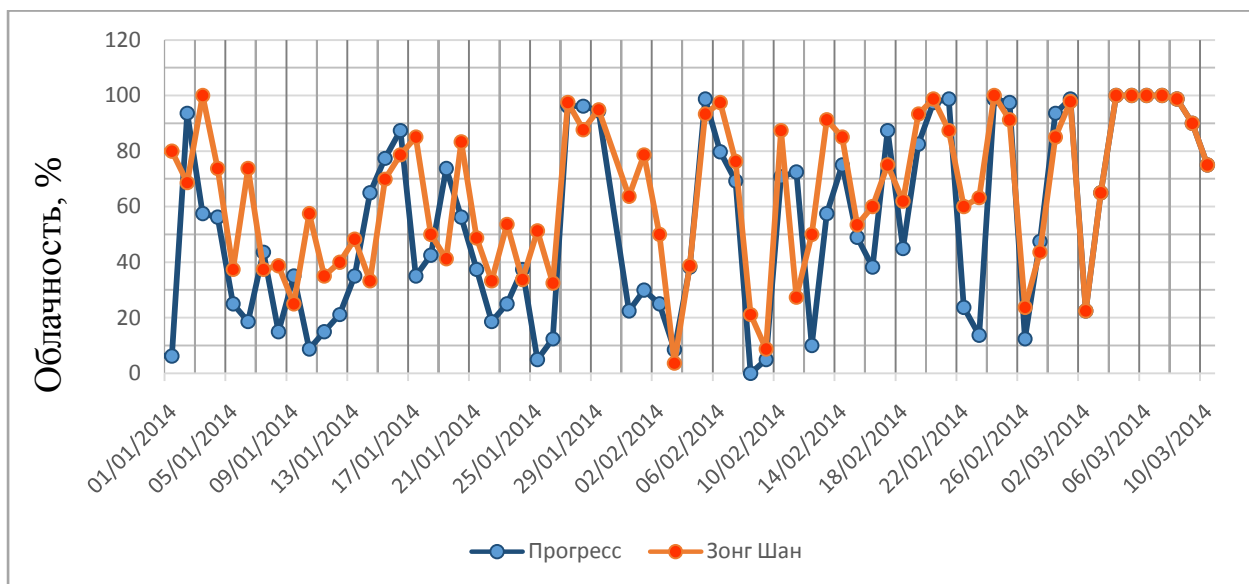


Рисунок 3.13 – Облачность за период 2014 года.

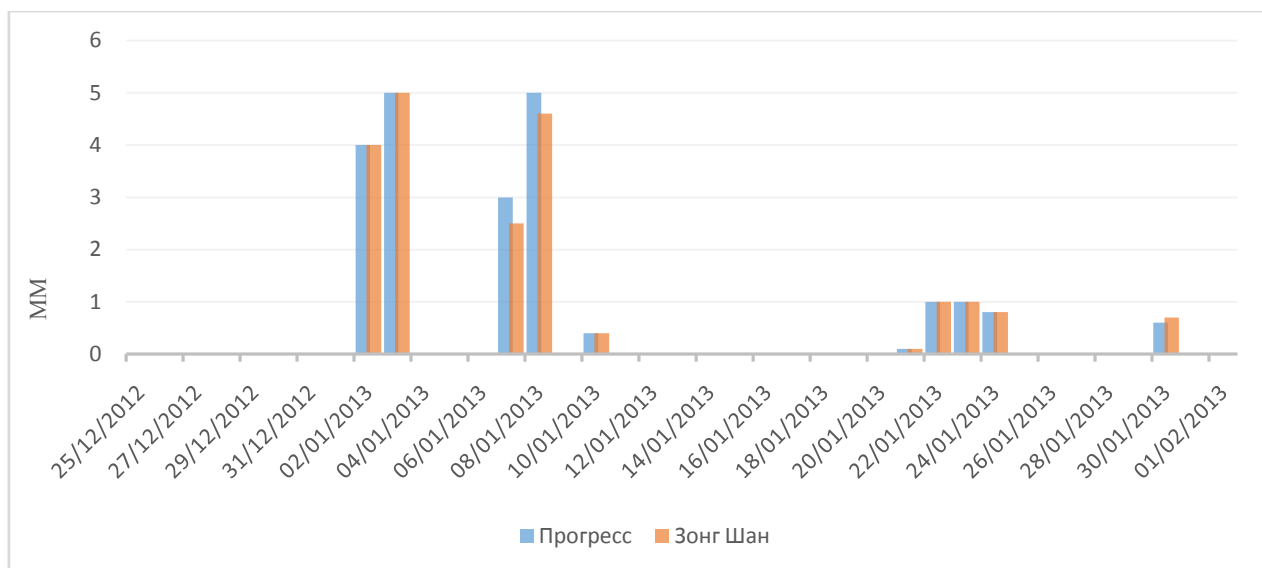


Рисунок 3.14 – Осадки за период 2012 – 2013 года.

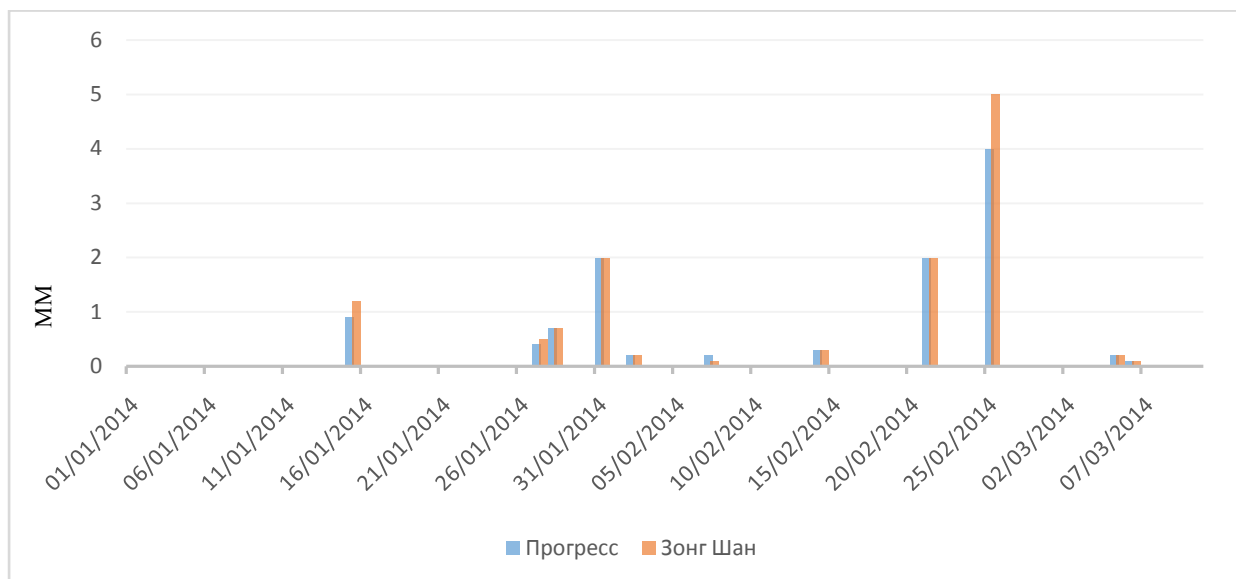


Рисунок 3.15 – Осадки за период 2014 года.

Как видно из рисунков 3.8 – 3.15, совмещенные по периодам графики климатических характеристик станций «Зонг Шан» и «Прогресс» очень схожи, в целом имеют одинаковый хронологический ход, местами полностью совпадая. В таблице 3.4 представлены коэффициенты корреляции между климатическими характеристиками.

Таблица 3.4 Значения коэффициентов корреляции между климатическими характеристиками станций «Зонг Шан» и «Прогресс».

Сезон	Коэффициент корреляции			
	Средняя температура воздуха	Средняя скорость ветра	Средняя облачность	Среднее количество осадков
2012-2013	0,91	0,86	0,92	1
2014	0,95	0,67	0,8	1

Как видно из таблицы, коэффициенты корреляции между климатическими характеристиками в целом очень высоки. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что климат на станциях практически не отличается.

3.4 Расчеты испарения с поверхности озёр

Расчет испарения начинается с определения средней длины разгона воздушного потока над озером. Для этого на план озера наносятся две системы прямоугольных сеток из параллельных профилей, ориентированных в первом случае с С на Ю и с З на В, а во втором – с СЗ на ЮВ и с СВ на ЮЗ. Средняя длина разгона для каждого направления профиля L_i вычисляется как среднее арифметическое из длин всех профилей этого направления. Так же для каждого месяца была рассчитана роза ветров.

Средняя длина разгона для всей акватории озера вычисляется по формуле:

$$L_{cp} = 0,01(L_{с-ю}(N_c + N_{ю}) + L_{з-в}(N_з + N_в) + L_{сз-юв}(N_{сз} + N_{юв}) + L_{св-юз}(N_{св} + N_{юз}))$$

где

$L_{с-ю}$ и т.д. – средняя длина разгона воздушного потока по профилям соответствующих направлений, км;

$(N_c+N_{ю})$ и т.д. – сумма повторяемостей направлений ветра для двух взаимно противоположных румбов, %.

Таблица 3.4 – Средняя длин разгона, км

Озеро	Месяц и год					
	12.2012	01.2013	02.2013	01.2014	02.2014	03.2014
Stepped	0.0028	0.0030	0.0034	0.0030	0.0032	0.0012
Sibhorpe	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0002
Progress	0.0018	0.0018	0.0020	0.0018	0.0019	0.0002
Sarah Tarn	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0006
Scandrett	0.0017	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0006
Reid	0.0012	0.0009	0.0007	0.0008	0.0008	0.0003

Значения средних месячных скоростей ветра над озером на высоте 2 м определяется по формуле:

$$U_2 = K_1 K_2 K_3 U,$$

Где

$K1$ - коэффициент, учитывающий степень защищенности метеостанции на суше;

$K2$ - коэффициент, учитывающий характер рельефа;

$K3$ - коэффициент, учитывающий среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом;

U – скорость ветра на высоте флюгера за расчетный интервал времени.

Расчет средних месячных значений упругости водяного пара и средняя температура воздуха над озером на высоте 2 м, проводился по формулам, указанным в пункте 2.2.3:

$$e_2 = e'_2 + (0.8e_0 - e'_2)M, t_2 = t'_2 + (t_0 - t'_2)M$$

Расчет месячного испарения по формуле (2.2.2.4). Так же был выполнен расчет суточных значений испарения по каждому озеру для всех периодов, и вычислено среднесуточное значение испарения.

Таблица 3.5– Испарение

Озеро	Период	Средняя температура воды, [C]	Суммарное испарение, мм	Среднесуточное испарение, мм
Stepped	26.12.2012 – 1.02.2013	6,2	133,6	3,4
	4.01.2014 – 5.03.2014	12,7	388,9	9,5
Sibhorpe	25.12.2012 – 28.01.2013	4,9	89,3	2,6
	5.01.2014 – 10.03.2014	11,7	309,6	8,8
Progress	6.01. 2014 – 7.03.2014	11,3	305,3	8,7
Sarah Tarn	26.12.2012 – 29.01.2013	6,1	112	3,2
	18.01.2014 – 7.03.2014	10,5	211,7	8,8
Scandrett	1.01.2014 – 9.03.2014	4,1	148,7	4,1
Reid	5.01.2014 – 8.03.2014	3,8	132	3,8

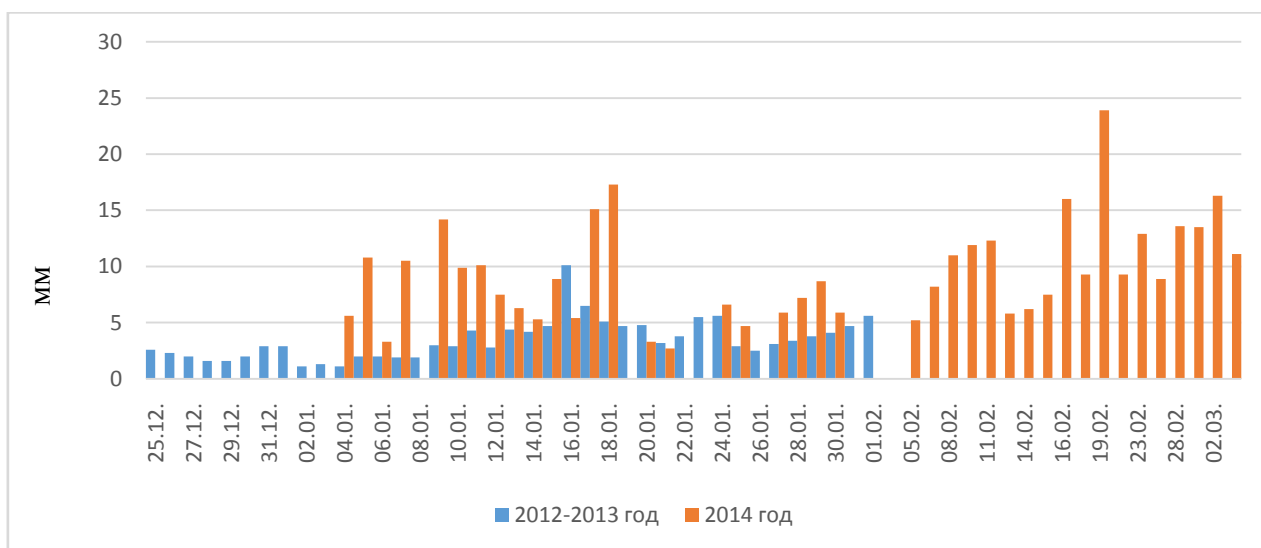


Рисунок 3.16 – Ход испарения на озере Степед.

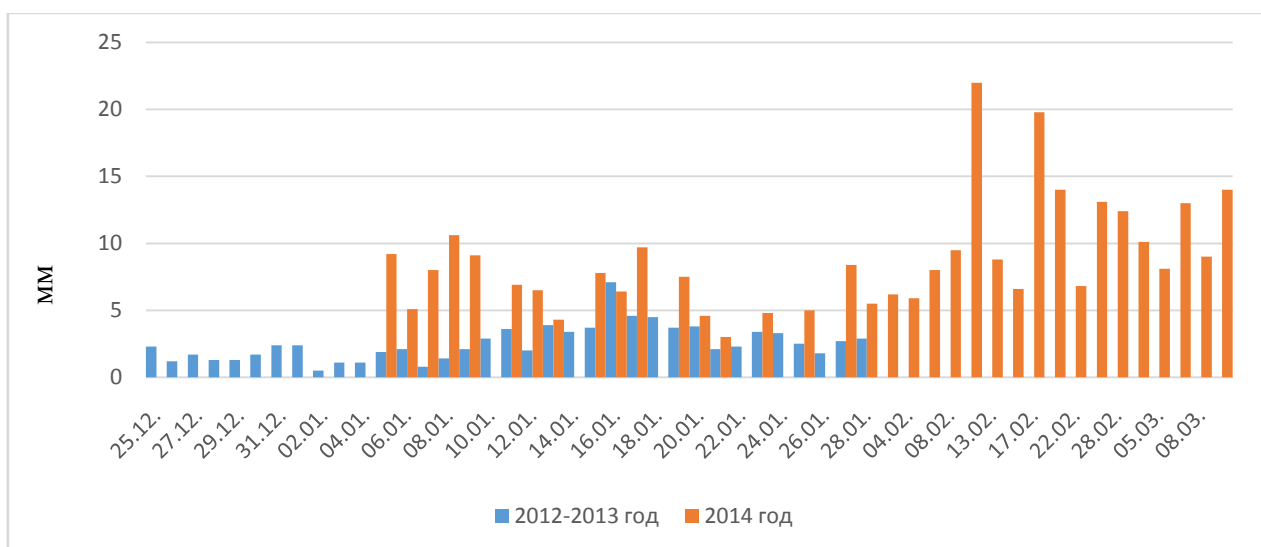


Рисунок 3.17 – Ход испарения на озере Сибхорп.

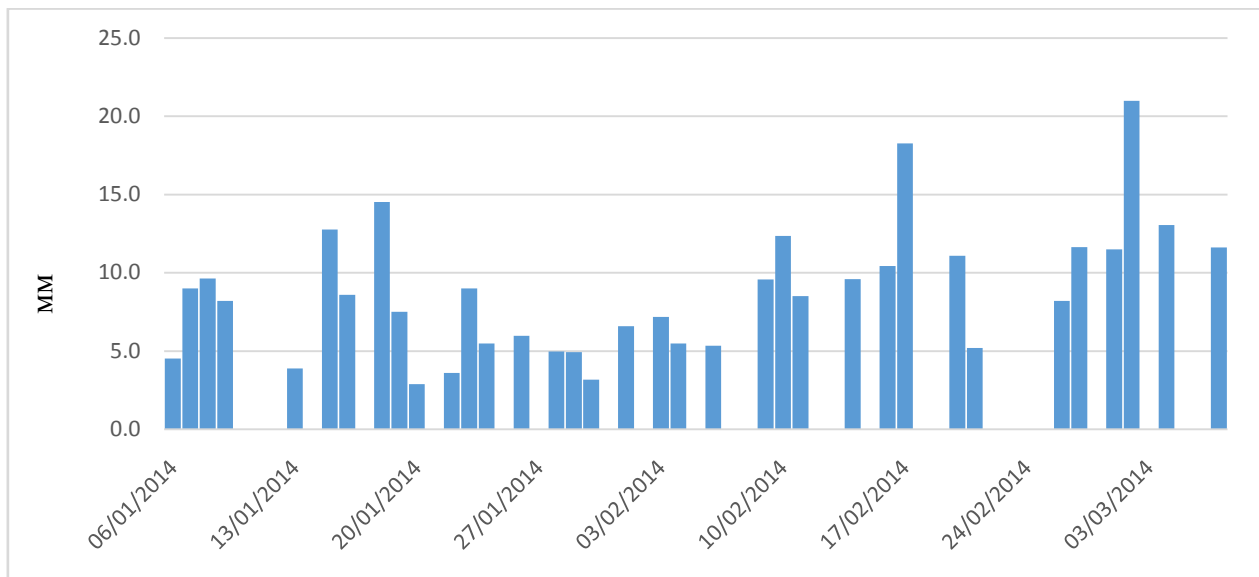


Рисунок 3.18 – Ход испарения на озере Прогресс.

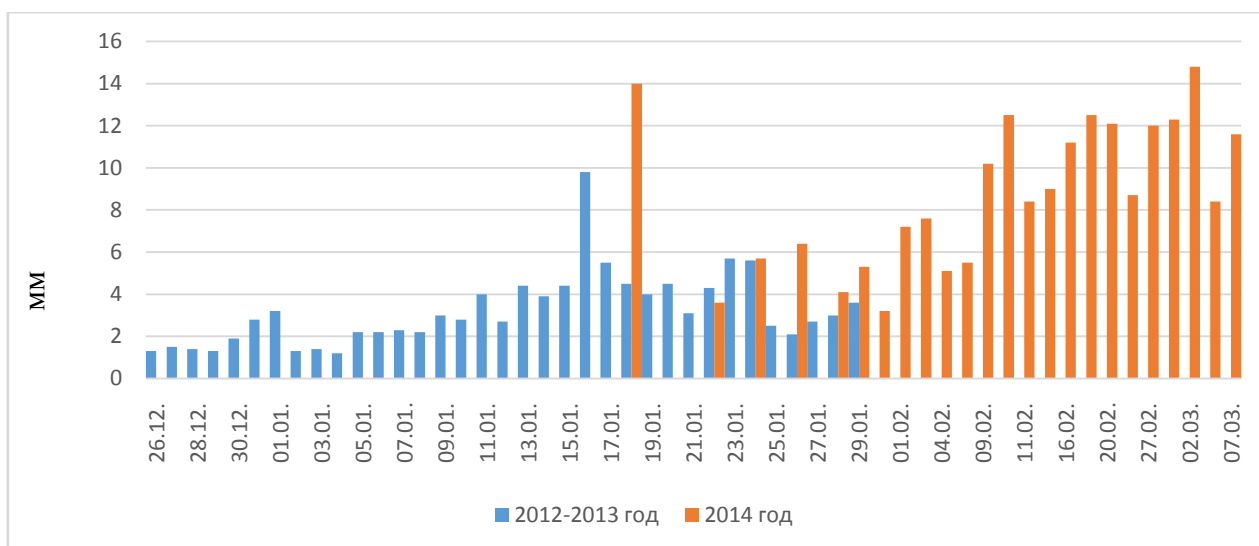


Рисунок 3.19 – Ход испарения на озере Сара Тарн.

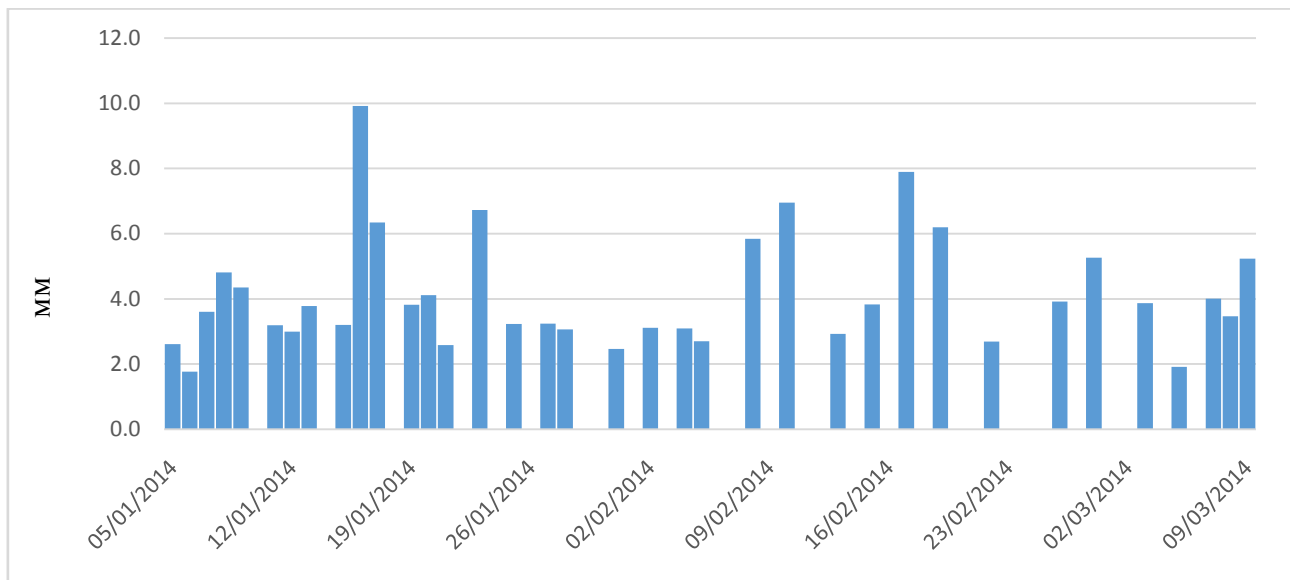


Рисунок 3.20 – Ход испарения на озере Скандрет.

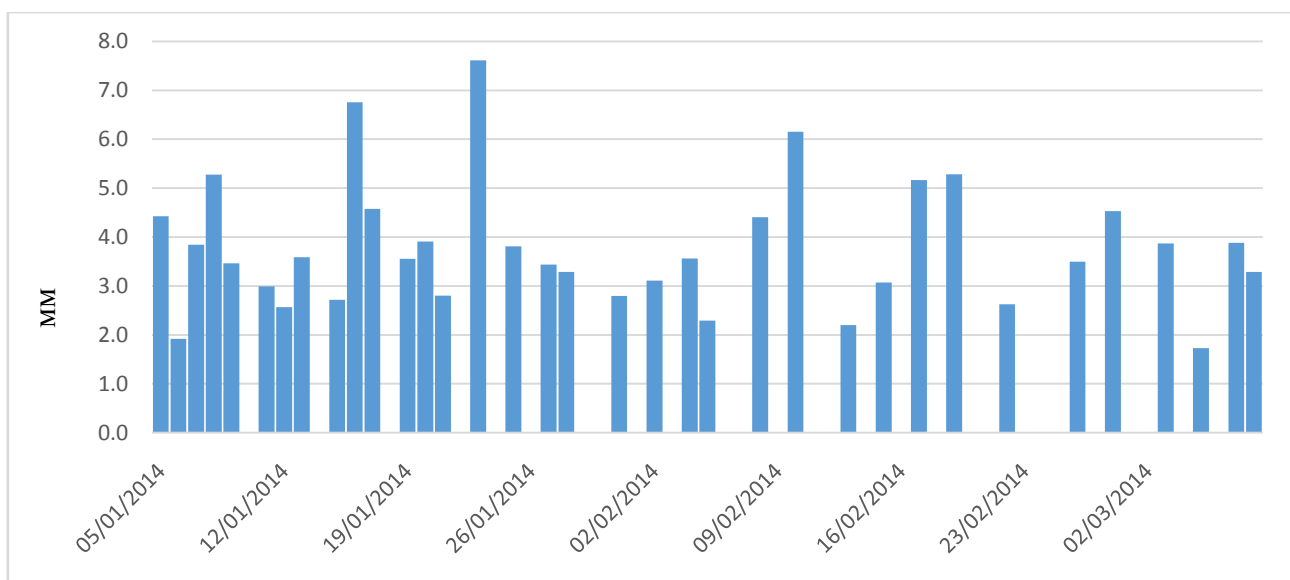


Рисунок 3.21 – Ход испарения на озере Рейд.

Были построены зависимости испарения с водной поверхности для всех озер за 2012-2013 год от глубины озера, представленные на рисунках 3.22 и 3.23.

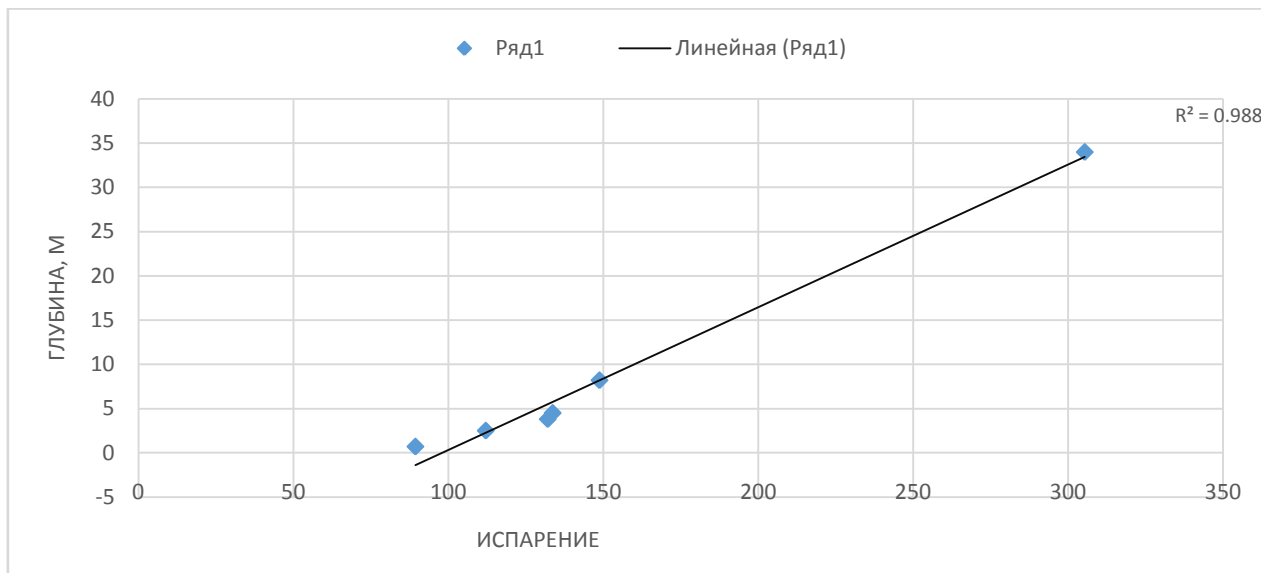


Рисунок 3.22– Зависимость суммарного испарения от глубины озера.

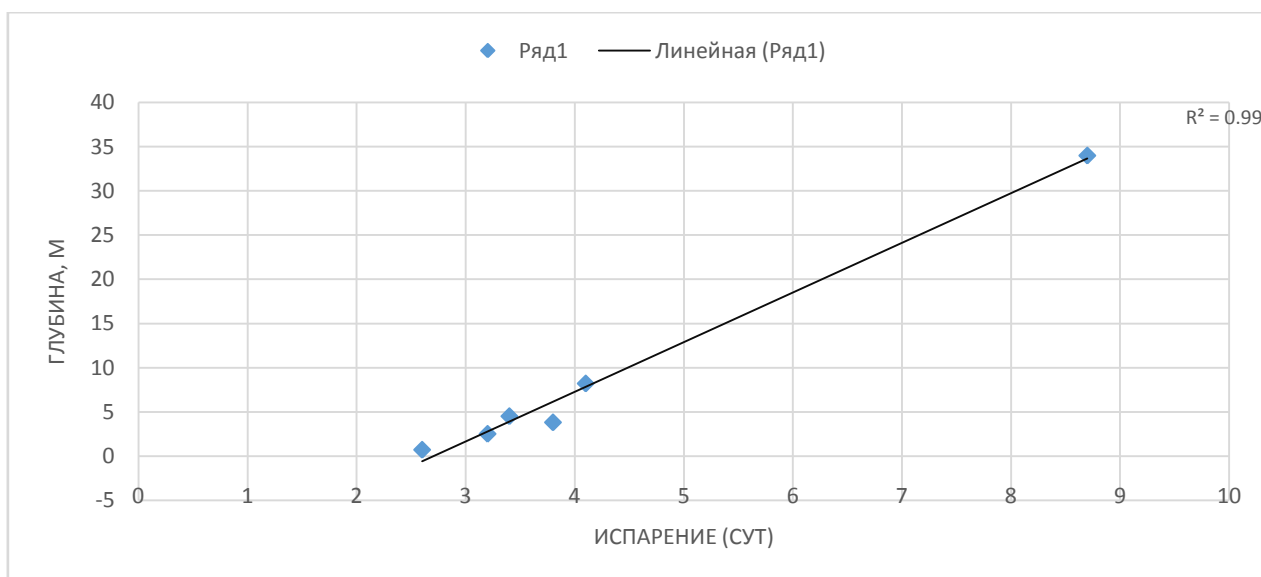


Рисунок 3.23 - Зависимость среднесуточного испарения от глубины озера.

Можно отметить, что на совмещенных за 2012-2013 и 2014 года графиках хода испарения на озерах Степпед, Сибхорп и Сара Тарн, испарение с поверхности воды озера в 2014 году существенно, примерно в три раза, выше испарения за 2012-2013 год. Это видно и при сравнении суммарного за период значения, так и при сравнении среднесуточных значений испарения.

При построении зависимости испарения с водной поверхности для всех озер за 2012-2013 год от глубины озера была получена тесная зависимость, с

коэффициентом корреляции R более 0.99 и для среднесуточных и для суммарных значений испарения.

Заключение

В ходе работы были выполнены все поставленные цели, а именно:

- Рассмотрены методы оценки испарения с водной поверхности. Для расчета испарения была выбрана эмпирическая формула, известная как «формула ГГИ». Данная формула была выбрана, так как в настоящее время она рекомендована в качестве расчетной.
- Были собраны все необходимые данные для расчета по выбранной формуле по двум научно-исследовательским станциям «Зонг Шан» и «Прогресс». Было выполнено сравнение климатических характеристик на этих станциях, их анализ.
- Выполнен расчет испарения с водной поверхности озер Степпед, Сибхорп, Прогресс, Сара Тарн, Скандрет и Рейд для двух периодов за каждый месяц. Так же выполнен расчет суточных значений испарения для всех озер, вычислено среднесуточное значение испарения.
- Вычисленные значения испарения были проанализированы. Можно отметить, что испарение с поверхности воды озера в 2014 году существенно, примерно в три раза, выше испарения за 2012-2013 год.
- Были получены тесные зависимости суммарного и среднесуточного испарения за 2012-2013 г. от глубины озера с коэффициентом корреляции R более 0,99.
- сбор необходимых в соответствии с выбранным методом расчета данных и их анализ;
- расчет испарения в водной поверхности озер для двух сезонов, анализ полученных результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бардин В.И. В горах и на ледниках Антарктиды / В.И. Бардин. – М.: Знание, 1989. – 192 с. + 16 с. вкл.
- 2 Богословский Б.Б. Водный баланс и термика озер и водохранилищ: Учеб. Пособие. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1979. – 71с. – (ЛГМИ)
- 3 Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометиздат, 1991. – 222 (I) с.
- 4 Грушинский Н.П. Антарктида / Н.П. Грушинский, А.Г. Дралкин. – М.: Недра, 1988. – 199 с.
- 5 Изучение и расчет элементов водного баланса. Часть 1. Водный баланс и основы методики его расчета. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 112с.: (ГГИ.)
- 6 Изучение и расчет элементов водного баланса. Часть 2. Изучение элементов водного баланса. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 149с. – (ГГИ.)
- 7 Лосев К.С. Страна вечной зимы / К. С. Лосев. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 112 с.
- 8 Магидович И.П., Магидович В.И. 'Очерки по истории географических открытий. Том 5' - Москва: Просвещение, 1986 - с.223
- 9 Симонов И.М. Оазисы Восточной Антарктиды. Л., Гидрометиздат, 1971.
- 10 Сократова И.Н. История открытия и исследований антарктических оазисов (начало XX в. – XXI в.): автореф. дис. канд. геогр. наук / И.Н. Сократова; СПбГУ. – М.- СПб, 2008. – 25 с.
- 11 Bydder E.L. and Holdsworth R. (1977) Lake Vanda (Antarctica) revisited, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 20:6, 1027-1032, DOI:10.1080/00288306.1977.10420695

- 12Gillieson D., Burgess J., Spate A. and Cochrane A. 1990. ANARE Research Notes: An atlas of the lakes of the Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, Antarctica. 175 p.
- 13Jenkins, A. , Hellmer, H. and Holland, D. M. (2001) The role of meltwater advection in the formulation of conservative boundary conditions at an ice-ocean interface , *Journal of Physical Oceanography*, 31 (1), pp. 285-296 .
hdl:10013/epic.12131
- 14Kaup E. & Burgess J. S. 2002. Surface and subsurface flows of nutrients in natural and human impacted lake catchments on Broknes, Larsemann Hills, Antarctica. *Antarctic Science*, 14, pp 343-352.
doi:10.1017/S0954102002000123.
- 15Kourzeneva, E., E. Martin, Y. Batrak and P. Le Moigne, 2012: Climate data for parameterisation of lakes in Numerical Weather Prediction models. *Tellus A* 2012, 64, 17226, DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.17226.
- 16Pruitt, W.O. (1966). "Empirical method of estimating evapotranspiration using primarily evaporation pans." *Proc. Conf. on Evapotranspiration and its Role in Water Resources Management*. Chicago. Dec. Am. Soc. Agr, Engrs., pp. 57-61.

ССЫЛКИ

1. http://www.gostrf.com/norma_data/52/52200/index.htm

(формула в 3.4 и таблицы к ней)

2. <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294821/4294821855.htm>

(таблица давления насыщенного водяного пара над поверхностью воды)

3. http://www.ats.aq/documents/recatt%5Catt358_r.pdf

(Отчет по Холмам Ларсеманн, география и т.д)

4. http://www.ats.aq/documents/recatt/att552_r.pdf

5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81_\(%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81_(%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F))

6. <http://xreferat.com/18/10-2-antarkticheskie-oazisy-kak-prirodnyiy-kompleks.html>

7. <http://xreferat.com/18/10-2-antarkticheskie-oazisy-kak-prirodnyiy-kompleks.html>

(происхождение оазисов и т.д)