

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт наук о Земле

Курсовая работа на тему:
**«Оценка антропогенного воздействия на водные объекты
антарктических оазисов»**

Выполнил: студентка 2 курса,
кафедры геоэкологии и рационального природопользования

Чернова Елизавета

Научный руководитель:

к.г.н., заведующая кафедры
геоэкологии и рационального природопользования

Федорова И.В.

Санкт-Петербург
2020

Содержание

Введение

3

Глава 1. физико-географическое описание исследуемой

территории

5

1.1 Геологическое и геоморфологическое строение исследуемой

территории

5

1.2 Климат исследуемой территории

6

1.2.1 Радиационный баланс

6

1.2.2 Давление

6

1.2.3 Ветер

7

1.2.4 Температура

7

1.3 Почва

8

1.4 Физико-географическое описание оазисов Ларсеманн

Хиллс, Ширмахера,

острова Кинг-Джордж.

9

Глава 2. Обзор имеющейся литературы

12

2.1 Изучение Антарктиды

12

2.2 Изучение антарктических оазисов

12

2.3 Изучение оазисов Ширмахера, Ларсеманн, полуострова

Кинг-Джордж 14

2.4 Изучение водоемов антарктических оазисов

15

Глава 3. Материалы и методы

17

Глава 4. Анализ гидрохимического режима водных объектов	19
4.1 Гидрохимический режим озер оазиса Ларсеманн	19
4.2 Гидрохимический режим озер оазиса Ширмахера	22
4.3 Гидрохимический режим озера острова Кинг Джордж	24
Глава 5. Сравнение концентрации биогенных элементов с ПДК	28
5.1 Сравнение концентрации биогенных элементов с рыбохозяйственными ПДК	28
5.2 Сравнение концентрации биогенных элементов с ПДК химических веществ в в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	29
Заключение	31
Список литературы	33
Приложения	34

ВВЕДЕНИЕ

Антарктида была открыта еще в 1820 году во время экспедиции Беллинсгаузена Ф.Ф. и Лазарева М.П., однако систематические исследования нового материка начались лишь в XX веке. В 1991 году Антарктида была объявлена заповедной зоной, и страны, подписавшие протокол по охране окружающей среды Антарктиды, обязались сохранять естественные ресурсы Антарктиды. На данный момент Антарктида является наименее изученным материком. Она представляет интерес для ученых, поскольку без понимания физических, химических, геологических, биологических и иных процессов, протекающих в Антарктиде, невозможно полностью понять, как функционирует планета Земля, также в последнее время в высоких широтах отмечается тенденция глобального изменения климата. Изучение Антарктиды и антарктических оазисов позволит получить необходимую информацию для реконструкции палеоклимата южной полярной области и палеоклимата Земли в целом. Такие реконструкции позволят понять естественную изменчивость климата до начала воздействия человека на природу и разграничить воздействия природных и антропогенных факторов на климат. Для получения информации в Антарктиде на данный момент действуют постоянные и сезонные научно-исследовательские станции. Многие из этих станций расположены в оазисах. До недавнего времени антропогенное воздействие, оказываемое на Антарктиду, было незначительным, поскольку пребывание на материке было ограничено. Однако за два последних десятилетия интерес к данному матерiku возрос, что привело к неизбежному росту антропогенной нагрузки. Во-первых, обеспечение работы научно-исследовательских станций и проживания участников экспедиций является причиной антропогенной нагрузки, оказываемой на оазисы. Во-вторых, антарктические оазисы являются наиболее привлекательными с точки зрения туризма, и с каждым годом число туристов, посещающих Антарктиду, растет. По данным Международной ассоциации туроператоров Антарктиды число туристов увеличилось в 6.8 раз. Если за 1994–1995 г.г. Антарктиду посетило 8 210 человек, то за 2018–2019 г.г. число туристов выросло до 55 849 человек. В связи с ростом популярности антарктических оазисов среди туристов, на оазисы и водоемы, расположенные в них, оказывается большая антропогенная

нагрузка. Также не стоит недооценивать влияния на Антарктиду глобального изменения климата. Для обеспечения охраны окружающей среды антарктических оазисов необходимо проводить оценку антропогенного воздействия на них и их компоненты.

Цели исследования: Целью данной работы является анализ гидрохимического режима озер антарктических оазисов в условиях повышенной антропогенной нагрузки. Для данного исследования выбраны озера оазисов Ширмахера и Ларсеманн Хиллс, острова Кинг-Джордж.

Задачи исследования:

- 1 Обобщить данные полевых наблюдений за параметрами гидрохимического режима озер оазиса Ширмахера и Ларсеманн Хиллс, острова Кинг-Джордж.
- 2 Провести первичную статистическую обработку гидрохимических данных.
- 3 На основе полученных данных провести оценку состояния исследуемых озер при имеющейся антропогенной нагрузке.
- 4 Рассмотреть факторы формирования гидрохимических характеристик озер оазисов.

Научная новизна:

В данной работе впервые проведен статистический анализ данных 65 РАЭ (2020), оценено состояние водоемов антарктических оазисов Ширмахера и Ларсеманн Хиллс и острова Кинг Джордж в условиях увеличивающейся антропогенной нагрузки и глобального изменения климата.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

1.1 Геологическое и геоморфологическое строение исследуемой территории

В пределах Антарктического материка выделяется два главных геоструктурных элемента: Древняя Восточно-Антарктическая платформа и Тихоокеанский подвижный пояс. Тихоокеанский подвижный пояс развит на территории Трансантарктических гор и Западной Антарктиды и состоит из нескольких складчатых систем, формирование которых датируется поздним протерозоем-кайнозоем. Восточно-Антарктическая платформа – это структура земной коры, фундамент которой сформировался в период от 3.9 миллиардов лет назад до 500 миллионов лет назад, а чехол не более, чем 600 миллионов лет назад (Грикуров, Михальский, Лейченко, 2010). Рельеф Антарктиды представлен крупными горными хребтами, внутриконтинентальными равнинами и прогибами, низкими краевыми равнинами (Ласточкин, Попов 2004). Рельеф оазисов формировался и изменялся под воздействием тектонических движений, абразии, оледенения, экзарации и выветривания. Наиболее важное воздействие на формирование рельефа оказали дизъюнктивные дислокации, которые привели к формированию сети разломов, по которым происходили глыбовые перемещения участков земной коры. Для многих оазисов характерно наличие морских террас высотой от 2 м до 120 м над уровнем моря. Благодаря рельефообразующей деятельности ледника появились экзарационные формы рельефа. Так многие долины имеют четко выраженную корытообразную форму. Для северных склонов возвышенностей и гряд характерно наличие каров. В результате скольжения льда по поверхности коренной породы образовались такие формы рельефа как бараньи лбы. Благодаря отложению ледниковой морены на поверхности коренных пород в оазисах появились аккумулятивные формы рельефа. Водные потоки переносят моренный материал, который аккумулируется вдоль периферийных частей оазисов, формируя флювиогляционные отложения.

Большое влияние на рельеф оазисов оказывает выветривание. Из видов физического выветривания в оазисах встречаются морозное выветривание, десквамация, нивация, эоловое выветривание. Помимо физического выветривания в оазисах протекает и химическое, в результате которого образуются карбонатные соединения, проявляющиеся в виде налетов и корок на поверхности горных пород (Симонов, 1971).

1.2 Климат исследуемой территории

1.2.1 Радиационный баланс

Поскольку Антарктида расположена в высоких широтах, где атмосфера достаточно прозрачна и почти не запылена, интенсивность прямой солнечной радиации на материке высока. Количество поступающего к поверхности Земли тепла в летние месяцы с декабря по январь в прибрежной зоне Антарктиды составляет 18-20 ккал/см² в месяц, в центральной части Антарктиды до 25-30 ккал/см² в месяц. Годовая суммарная радиация достигает 90-120 ккал/см². Поглощенная радиация в Антарктиде довольно мала, вследствие большого альbedo льда и снега (60% и 80-95% соответственно), однако в оазисах величина альbedo меньше в 2-4 раза, поэтому поглощенная радиация там больше и составляет 68-70 ккал/см² в год. Эффективное излучение в Антарктиде отрицательно и составляет -20-25 ккал/см² в год. Годовой радиационный баланс в Антарктиде также отрицателен в связи с высоким альbedo снега и льда, и составляет примерно -10 ккал/см² в год. Положительным радиационный баланс бывает лишь в прибрежной зоне в период с декабря по январь включительно и составляет 2 ккал/см² в месяц. В оазисах, в связи с низким альbedo поверхности, радиационный баланс бывает положителен в течение 6-7 месяцев с октября по март, поэтому и годовой радиационный баланс там положителен и составляет 30-40 ккал/см² в год (Симонов, 1971).

1.2.2 Давление

Вследствие отрицательного радиационного баланса Антарктида является областью повышенного давления, и над ее центральной частью располагается антициклон. Над поверхностью Южного океана располагается система циклонов двух типов. Кольцевые циклоны движутся в широтном направлении вблизи побережья и влияют лишь на погоду побережья и морей, омывающих Антарктиду. Циклоны,двигающиеся в меридиональном направлении, влияют не только на погоду побережий, но и на погоду внутренних районов. Наибольшее

развитие циклоническая деятельность достигает зимой, поскольку именно в зимний период контраст между холодной антарктической и теплой морской воздушными массами максимален (Короткевич, 1972).

1.2.3 Ветер

Годовой ход скорости ветра в Антарктиде выражен ярко. Максимальные скорости наблюдаются в зимний период, а минимальные в летний. Амплитуда среднегодовых скоростей ветра составляет около 9.9 м/с. Ветры Антарктиды можно подразделить на стоковые, циклонические и переходные между двумя предыдущими группами. Циклонические ветры дуют в основном вдоль побережья, отличаются большими скоростями и имеют восточное, восточно-юго-восточное или северо-восточное направление. В оазисах они имеют преимущественно восточное и юго-восточное направление и сопровождаются метелями, снегопадами и облачностью. Стоковые ветры, связанные с выхолаживанием приземного слоя и движением под действием силы тяжести вниз по склону, отличаются низкой температурой и порывистостью. Скорость стоковых ветров зависит от крутизны и экспозиции склона. Максимальную скорость ветра можно наблюдать у подножия склона ледникового покрова Восточной Антарктиды, поскольку у подножия наблюдается большой градиент давления на границе циклонов и антициклона и у подножия сток достигает максимальной силы. На Антарктическом полуострове скорости ветра минимальны, поскольку стоковые ветры не достигают большого развития в связи с небольшой высотой ледникового покрова, а циклонические ветры в связи с отсутствием значительного градиента давления. На ветровой режим оазисов немаловажное влияние оказывают физико-географических условия. Крутизна и размер склона, у которого находится оазис, а также размеры самого оазиса, имеют большое значение для ветрового режима. Так в больших по площади оазисах стоковые ветры развиты слабо, поскольку по мере удаления от подножия ледникового склона увеличивается шероховатость поверхности, способствующая уменьшению скорости ветра. Также в оазисах наблюдаются местные ветры фёны. Фёны, спускаясь по склону, отдаляются от состояния насыщения, а проходя над нагретой поверхностью становятся еще суше (Симонов, 1971).

1.2.4 Температура

Температура воздуха в Антарктиде очень низкая. Температура самого холодного месяца не превышает -15°C . Для Антарктического побережья самым холодным месяцем является июль, для высокоширотных территорий самый холодный месяц – август. В центральной части ледникового плато, которая является наиболее холодной областью планеты Земля, на станции Восток температура опускается до -68°C . Самым теплым месяцем для Антарктического побережья является январь, а для высокоширотных районов – декабрь (Короткевич, 1972). В оазисах за счет поглощения большого количества солнечной энергии достигаются более высокие температуры. Тепло в оазисах аккумулируется как горными породами, обладающими низким альбедо и высокой теплопроводностью, так и водами озер, обладающими высокой теплоемкостью. В течение всего года температура в оазисах на $1-2^{\circ}\text{C}$, а в отдельные месяцы на $4-5^{\circ}\text{C}$ выше, чем на других территориях. В оазисах наблюдается значительная разница температур воздуха и подстилающей поверхности (летом $6-7^{\circ}\text{C}$, зимой $2-3^{\circ}\text{C}$), в то время как в районах со снежной поверхностью больших разниц нет. Между температурами самих оазисов также наблюдается различие. Это можно объяснить широтой местности расположения оазиса. Немаловажную роль в температурном режиме играет размер оазиса. Так в больших по площади оазисах для участков, удаленных от ледникового склона, характерны более высокие температуры, поскольку на них менее всего сказывается охлаждающее воздействие стоковых ветров. Антарктический ледяной покров также оказывает охлаждающее влияние на оазисы. Антарктические оазисы обладают более континентальным климатом по сравнению с окружающими их снежно-ледяными территориями (Короткевич, 1972).

1.3 Почва

Процесс почвообразования в антарктических оазисах протекает медленно и слабо, что объясняется суровостью климатических условий. Почвы Антарктиды развиваются при участии мохово-лишайниковой

растительности. Они подобны почвам нивальной зоны гор умеренных широт. В результате процессов химического, физического и биологического выветривания образуется ожелезненная и окорбаначенная кора выветривания. Ряд химических элементов попадает в Антарктиду с океана за счет питающихся продуктами моря птиц и тюленей. (Глазовская, 1958.). Важнейшую роль в почвообразовательных процессах играют микроорганизмы. Среди них есть нитрификаторы, азотфиксаторы, целлюлозоразрушающие организмы. Они оказывают влияние на биогенное накопление кальция, марганца и железа в водорослевых корочках. Главными ареалами образования почв являются участки, занимаемые растительностью, поскольку это наиболее увлажненные участки, а обеспеченность влагой является важным фактором почвообразования. Поскольку растительность не образует сплошного покрова, почвенный покров также разрознен. Несмотря на малую продуктивность организмов, гумусонакопление все же происходит. Этому благоприятствует отсутствие вымывания и медленное разложение органики, обусловленное низкими температурами. (Симонов, 1971). Богатые органикой и минеральными элементами места скопления птиц и тюленей являются ареалами образования «зоогенных» почв. Через их перья, гуано, кости места их пребывания обогащаются минеральными и органическими элементами, что благоприятствует процессу почвообразования. В оазисах с пресноводными и слабосолеными озерами образуются земноводные почвы. На дне таких озер располагаются бактериальные и микробно-водорослевые маты, богатые органическим веществом. Летом площадь озер за счет испарения уменьшается. Органическое вещество разлагается в аэробных условиях и так образуются органно-минеральные глеезёмы. Осенью эти почвы становятся подводными (Абакумов, Крыленков, 2011). Во многих местах почва разбита на полигоны, образовавшиеся в результате криогенных процессов (Симонов, 1971). Почвенный профиль дифференцирован слабо (Глазовская, 1973).

1.4 Физико-географическое описание оазисов Ларсеманн, Ширмахера, острова Кинг Джорж

Оазис Ширмахера имеет координаты центра $-70^{\circ}45'$ ю.ш., $11^{\circ}35'$ в.д. Согласно классификации Сократовой (2010) является низменным пришельфовым. Рельеф представлен линейными депрессиями, грядами сопок северо-восточного направления, ложбинами, грядами северо-западного направления. Коренной рельеф оазиса сложен кристаллическими сланцами и гнейсами. Поскольку направление движения льда совпадало с простиранием основных депрессий, дно и склоны долин усиленно обрабатывались ледником. Этим объясняется тот факт, что продольный профиль оазиса Ширмахера изобилует ригелями и западинами. Многие долины оазиса Ширмахера имеют корытообразную форму. Из аккумулятивных форм рельефа в оазисе встречаются у северной границы кончено-моренные гряды, наледниковые флювигляционные отложения песчаного состава. Среднегодовая температура воздуха в оазисе составляет -10°C . Среднегодовая температура грунта составляет также -10°C . В зимние месяцы разница температур грунта и воздуха составляет $2.5-3^{\circ}\text{C}$, а в летние – $6-8^{\circ}\text{C}$. Оазис отличается значительной сухостью воздуха. Среднегодовая относительная влажность составляет 45%. В оазисе преобладают циклонические ветры юго-восточного и восточного направлений, сопровождающиеся повышением температуры зимой и понижением летом. Также сильно развиты стоковые ветры. Среднегодовая скорость ветра составляет 11 м/с. Осадки в оазисе выпадают в осенне-зимний период, поскольку усиливается циклоническая деятельность. Общая среднегодовая облачность в оазисе составляет 6-7 баллов, при этом нижняя среднегодовая облачность составляет 1-2 балла. В оазисе Ширмахера встречаются гнездовья пингвинов Адели, снежных Буревестников, Южно-полярного поморника, Вильсоновой качурки. На скалах оазиса произрастают лишайники. Всего в оазисе Ширмахера был обнаружен двадцать один вид лишайников. На местах с постоянным увлажнением селятся мхи. Всего было найдено четырнадцать видов мхов. В озерах оазиса обитают диатомовые водоросли. Всего было обнаружено сорок пять видов и разновидностей диатомовых водорослей (Симонов, 1971). В некоторых озерах оазиса мох ложнотрёхгранный может быть представлен в числе бентоса. В оазисе более ста пятидесяти

озер площадью от 2.2 км² до 0.02 км². Самым большим по площади является озеро Ожидания. Многие озера оазиса имеют тектоно-экзарационное происхождение, в северной части оазиса присутствуют эпишельфовые озера, также есть неглубокое наледниковое озеро, именуемое озеро Талое (Федорова, 2003).

Оазис Ларсеманн имеет координаты центра 69°24' ю.ш. 76°13' в.д. Площадь оазиса составляет 40 км². По классификации Сократовой (2010) является низменным приморским. Оазис сложен кристаллическими породами гнейсами и гранитами. Наибольшее влияние на рельеф оазиса оказывают эоловые процессы. Также оазис подвержен десквамации, морозному выветриванию, дефляции. Рельеф оазиса представлен грядами с множеством лощин и конусами выноса рыхлообломочного материала. Береговая линия сильно изрезана, имеются глубоко вдающиеся фьорды. В связи с условиями орографии климат в оазисе более мягкий, чем в других прибрежных оазисах. Среднегодовая температура воздуха составляет

-9.8 °С. Самым теплым месяцем является декабрь, а самым холодным июль. Среднегодовая скорость ветра составляет 6.7 м/с. Преобладают восточные ветры, но летом возможен суточный ход скорости и направления ветра. Ветры сопровождаются туманом, облачностью и снегопадом. Годовая сумма осадков составляет около 200 мм. Относительная влажность воздуха составляет 57%. В озерах оазиса обитает фитопланктон, среди бентоса преобладают цианобактерии. Также было обнаружено четырнадцать видов коловраток, два из которых *Philodina gregaria* и *Adineta grandis*, являются эндемиками Антарктиды (Евдокимов, 2016).

Остров Кинг Джордж имеет координаты 62°02' ю.ш. 58°21' з.д., он входит в состав архипелага Южных Шетландских островов. Остров сложен вулканическими горными породами базальтами, туфами и андезитами. Рельеф острова холмистый с абсолютными высотами 150-160 м над уровнем моря. В ряде мест остров обрамлен морскими террасами. Большая часть острова перекрыта ледниковым куполом. Климат острова более мягкий по сравнению с оазисами. Среднегодовая температура воздуха составляет -1.6 °С. Среднегодовая температура земной поверхности -1 °С. Климат более влажный. В среднем

относительная влажность составляет 84%. За год выпадает более 500 мм осадков. На острове Кинг Джордж довольно высокая облачность. Среднегодовая общая облачность составляет 9 баллов. Среднегодовая скорость ветра 7 м/с. Для острова Кинг Джордж характерны примитивные криогенно-структурные почвы с незначительным содержанием гумуса. Почвы являются кислыми и слабозасоленными. Существенное влияние на почвообразовательные процессы оказывает органическое вещество, продуцируемое животными. На острове Кинг Джордж были обнаружены гнездовья трех видов пингвинов (пингвин Адели, антарктический пингвин, ослиный пингвин), буревестника, поморника капского голубя. На острове порядка шестидесяти озер (Скороспехова, Федорова и др. 2016).

2 ОБЗОР ИМЕЮЩЕЙСЯ ЛИТЕРАТУРЫ

2.1 Изучение Антарктиды

Открытие Антарктиды Беллинсгаузенем и Лазаревым побудило другие страны направить свои научные экспедиции на исследование нового материка. Однако до второй половины XX века Антарктида была изучена очень слабо. Важность изучения нового материка была отмечена лишь в 1954 году специальным комитетом Международного геофизического года. Активно исследовать материк начали в 1957-1958 гг. при подготовке Международного геофизического года. В 1955 году в СССР для более эффективного освоения материка была организована постоянно действующая государственная антарктическая экспедиция. Для получения сведений о закономерностях природного режима и обеспеченности материка минеральными ресурсами было построено несколько научно-исследовательских станций, на базе которых в дальнейшем стали проводить регулярные научные наблюдения. Так в 1956 году была открыта станция Оазис в оазисе Бангера, которая принадлежала СССР. В 1957 году в оазисе Грирсона была открыта станция УИЛКС, принадлежащая США, и в том же году в оазисе Вестфолль была открыта станция Дейвис, принадлежащая Австралии. В 1958 году в оазисе Лютцов-Холм была открыта станция Сёва, принадлежащая Японии. В 1959 году на конференции в Вашингтоне (США) был принят Договор об Антарктиде. Данный договор предполагает использование Антарктики исключительно в мирных целях, свободу научных исследований, сотрудничество стран в научных целях, обмен научными данными. Положения договора распространяются на территорию, находящуюся южнее 60 параллели южной широты, включая шельфовые ледники. Договор об Антарктиде вступил в силу в 1961 году, и на данный момент сторонами данного договора являются 54 страны (Дубровин, Петров, 1967).

2.2 Изучение антарктических оазисов

В 1901-1904 гг. во время экспедиции Скотта Р. был открыт первый антарктический оазис – оазис Тейлора. Многие оазисы были обнаружены в ходе норвежских, британо-австрало-новозеландских, немецких, американских и других экспедиций, проводимых в период с 1901 по 1947 года. Во второй половине XX века в Антарктиде развернулись планомерные работы по аэрофотосъемке и картографированию Антарктиды, позволившие нанести на карту большую часть известных на сегодняшний момент оазисов (Сократова, 2010). Дискуссии о происхождении антарктических оазисов начались с момента активного исследования материка. Так геологом Апфелом Э.Т. была разработана орографическая гипотеза. Апфел обосновывал существование оазисов обтеканием их территории льдами внутренних частей Антарктиды, связанным с местными условиями рельефа, и обнажением от снежного покрова участков земной поверхности в процессе эолового выветривания, приводящее к преобладанию абляции над накоплением снега. Григорьевым Н.Ф. была выдвинута климатическая гипотеза. Он предположил, что в конце четвертичного периода в связи с потеплением климата и уменьшением мощности ледникового покрова началось освобождение от льда приподнятых участков. Освобожденные от льда участки подвергались активному физическому, химическому и биохимическому выветриванию. Оазисы, обладающие особыми климатическими условиями, благоприятствующими абляции, расширялись до известных пределов. Климатические данные об Антарктиде были впервые обобщены Русиным Н.П. в монографии «Метеорологический и радиационный режим Антарктиды». Процессы почвообразования в Антарктиде были отмечены Глазовской М.А. в статье «Выветривание и почвообразование в Антарктиде». Значительный вклад в изучение и обобщение данных внесли Короткевич Е.С., охарактеризовавший Антарктические ландшафты в своей книге «Полярные пустыни» и Симонов И.М., обобщивший все имеющиеся данные по антарктическим оазисам в своей работе «Оазисы Восточной Антарктиды». Флора и фауна Антарктиды подробно описана в работе R. Bargagli Antarctic Ecosystems. Отмечено, что в Антарктиде произрастает более двухсот шестидесяти видов лишайников, которые произрастают на скалах, более ста видов мхов, предпочитающих

песчаные субстраты, а также водоросли. Из водорослей наиболее распространены сине-зеленые водоросли. На влажных почвах могут произрастать антарктическая мшанка и антарктическая волосяная трава. В почвах в также встречаются коловратки, нематоды, пылевые клещи, тихоходки и ногохвостки. Растительность острова Кинг Джордж была изучена Р. Ошуга. В составе растительного покрова острова доминируют мхи, было найдено порядка семидесяти видов мхов. Также в составе растительного покрова острова Кинг Джордж встречаются лишайники и злаковые растения.

Особое внимание антропогенной нагрузке на водоемы Антарктиды уделено в труде A.G. Fountain, B.C. Christner et all Polar lakes and Rivers. Прямое антропогенное воздействие, оказываемое на оазисы и их водоемы, можно разделить на три группы:

а) физическое воздействие, оказываемое самими исследователями и приборами, которые они используют, приводящее к искусственному нарушению стратификации водной толщи, сюда же можно отнести строительство плотин и водозабор, приводящие к уменьшению биоразнообразия водоемов;

б) химическое воздействие, проявляющееся в разливе топлива, сбросе отходов, загрязнении атмосферы выбросами генераторов энергии;

в) биологическое воздействие, проявляющееся в появлении инвазивных микроорганизмов.

Также стоит отметить антропогенное воздействие, оказываемое на Землю в целом, и приводящее к смене ветрового, температурного, ледового режима и иным глобальным изменениям климата (Riddle, 2009).

2.3 Изучение оазисов Ширмахера, Ларсеманн, полуострова Кинг-Джордж

Первые исследования в оазисе Ширмахера проводились немецкими учеными в 1938-1939 гг. Систематические исследования в данном оазисе начались после открытия научно-исследовательской станции Новолазаревская в 1961 году. Благодаря исследованиям было установлено, что в оазисе Ширмахера присутствуют эрозионные и эпишельфовые озера. Аэрофотосъемка, проведённая немецкими учеными

в оазисе Ширмахера, показала, что за период с 1939 по 1984 года в восточной части оазиса произошло значительное уменьшение ледяного и снежного покрова. Во время 42 РАЭ были проведены исследования по оценке антропогенного воздействия на водоемы оазиса в районе станции Новолазаревская. Было установлено, что наиболее опасное воздействие оказывают отходы газогенерации в аэрологическом павильоне, который расположен на озере Глубокое, и сточные воды (Сократова, 2010; Bergstorm, Convey, Huiskes, 2006; Riddle, 2009).

Оазис Ларсеманн стал систематически изучаться в конце 80-х годов XX века после открытия научных трёх научно-исследовательских станций: советской станции Прогресс, китайской станции Зонг-Шан, австралийской станции Лоу. Исследования показали, что большинство озёр данного оазиса имеют тектоно-экзарационное происхождение. В данном оазисе отмечается повышенная антропогенная нагрузка вблизи научно-исследовательских станций. Так в пробах некоторых озёр оазиса Ларсеманн были обнаружены полиароматические углеводороды техногенного происхождения. Также было установлено повышение электропроводности озёр, расположенных рядом со станциями. Данное изменение обусловлено поступлением в водоемы с человеческими отходами и в результате усилившейся эрозии солей. Работы, проводимые в самих озёрах, привели к установлению прямой термической стратификации вместо обратной (Сократова, 2010; Bergstorm, Convey, Huiskes, 2006).

На острове Кинг-Джордж систематические изучения начались после открытия научно-исследовательской станции Беллинсгаузен в 1968 году. В период с 1969 по 1971 года в ходе Советской антарктической экспедиции были проведены обширные работы по изучению термического режима водоемов и их морфометрии. Гидрохимические и гидробиологические исследования проводились лишь на крупных озёрах и имели эпизодический характер. Мелководные озёра острова Кинг-Джордж являются экзарационными по происхождению. Также на острове имеются четыре крупных озёра. Озеро Глубокое имеет вулканическое происхождение, озёра Длинное, Китеж и Слаломное являются тектонико-экзарационными. В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на остров Кинг Джордж в 2013-2014 гг. в ходе 58 и 59

Российских антарктических экспедиций были проведены исследования гидрохимического режима озер (Федорова, Четверова и др., 2016), также в 2008 году было выполнено гидрохимическое исследование озера Китеж. Предпосылкой к проведению исследования стало минеральное новообразование на трубопроводе водохозяйственного снабжения станции Беллинсгаузен, вода в который поступает из озера Китеж. Образец минерального новообразования был отобран и исследован. Анализ показал, что новообразование – это кристаллогидрат сульфата железа. Такое новообразование могло быть вызвано сероводородной коррозией, которая в свою очередь, может быть связана с антропогенным загрязнением озер.

2.4 Изучение водоемов антарктических оазисов

Подробная классификация водоемов представлена Симоновым И.М. Он выделяет пять видов озер по типу озерных котловин:

- а) тектонико-экзарационные озера, занимающие обработанные ледником впадины по линии тектонического разлома;
- б) подпрудные озера, образовавшиеся в результате перегораживания долин моренными валами;
- в) экзарационные озера, котловины которых образовались в результате деятельности ледника;
- г) эпишельфовые озера, появившиеся в результате отгораживания морских заливов шельфовыми ледниками. Они связаны с морскими экосистемами, а пресные воды в таких озерах в связи с меньшей плотностью залегают над солёными;
- д) наледниковые озера, образующиеся на поверхности ледника.

В работе Reinhard Pienitz, Peter T. Doran, Scott F. Lamoureux также отмечено, что небольшие наледниковые озера формируются в криоконитовых отверстиях в период таяния ледника, в то время как более крупные занимают крупные впадины на поверхности ледника, образовавшиеся в результате его движения.

По термическому режиму озера антарктических оазисов Симонов подразделяет на:

- а) озера с постоянным ледяным покровом в течение года и обратной термической стратификацией, температура глубинных вод в таких озерах достигает 4 °С;
- б) озера с прямой термической стратификацией и стаиванием ледяного покрова летом;
- в) небольшие озера с прямой термической стратификацией летом и промерзающие до дна зимой;
- г) низкотемпературные эпিশельфовые озера с невыраженной термической стратификацией, ледяной покров сохраняется у них в течение всего года, температура вод таких озер не превышает 0.5 °С, что связано с охлаждающим воздействием берегов и питанием за счет талых вод.

Разнообразен и ледовый режим озер. Практически все озера покрыты льдом большую часть года. Только в летний период с конца ноября до февраля может происходить освобождение ото льда. Эпিশельфовые озера, а также озера горных оазисов сохраняют ледяной покров на протяжении всего года.

Короткевич Е.С. отмечает, что для озер характерно снежно-ледниковое питание и выделяет три типа озер по концентрации солей:

- а) пресные (концентрация солей менее 0.3%);
- б) солоноватые (концентрация солей от 0.3% до 24.695%);
- в) соленые озера (концентрация солей более 24.695%).

R. Bargagli отмечает, что в озерах Антарктиды аккумулируется большая часть биомассы. Все живых организмы относятся либо к планктону, либо к бентосу. Из фототрофных организмов наиболее распространены цианобактерии, жгутиконосцы и хлорококковые. Цианобактерии образуют маты (сообщества), покрывающие донные отложения. Покрытые цианобактериальными матами донные отложения являются отличительной чертой антарктических озер. Планктон и бентос озер антарктического полуострова отличаются наибольшим разнообразием видов (Bargagli R.). Согласно David A. Pearce и Pierre E. Galand в некоторых озерах также были обнаружены амёбы, лишайники, центрохелидные солнечники, веслоногие ракообразные. David A. Pearce и Pierre E. Galand отмечают, что веслоногие ракообразные играют немаловажную роль в регулировании пищевых цепей.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе проводится оценка антропогенного воздействия на водные объекты антарктических оазисов на основе анализа гидрохимического режима этих водных объектов. Под антарктическим оазисом следует понимать территории прибрежной зоны Антарктиды площадью от нескольких десятков до нескольких тысяч квадратных километров, лишённые ледникового покрова и характеризующиеся особым местным климатом, более благоприятным для развития жизни по сравнению с другими частями Антарктиды, почвами, биотой, рельефом и наличием незамерзающей воды. Антарктические оазисы подразделяются на два класса – горные оазисы и низменные оазисы. Низменные оазисы подразделяются на два вида – пришельфовые оазисы и приморские оазисы. Пришельфовые оазисы отделены от моря шельфовыми или материковыми ледниками. Приморские оазисы расположены на берегу. Пришельфовые оазисы подвержены влиянию только ледникового покрова, в то время как приморские оазисы подвержены влиянию ледникового покрова и окраинных морей. При выходе долин к побережью горные оазисы могут смыкаться с низинными и образовывать горно-долинные оазисы. Подробная классификация антарктических оазисов представлена в Приложении 1 (Сократова, 2010). Под водоёмом следует понимать естественное или искусственное скопление текучих и/или стоячих вод таких как озеро, река, пруд (Реймерс, 1990). Озера являются неотъемлемой частью антарктических оазисов, поскольку именно наличие озер позволяет отнести те или иные свободные ото льда территории к оазисам. Под оценкой водного объекта следует понимать установление положения, внешних и внутренних обстоятельств, в которых находится водоём. Внешняя среда оказывает существенное воздействие на водные объекты, поэтому для оценки состояния водных объектов целесообразно использовать характеристики, отражающие влияние внешней среды на них (Федорова, 2003). В данной работе используются характеристики гидрохимического режима водных объектов. Под гидрохимическим режимом понимается закономерные изменения химического состава вод водного объекта или отдельных его компонентов

во времени, обусловленные физико-географическими условиями бассейна и антропогенным воздействием (Зенин, 1988). В ходе сезонных работ 62 РАЭ в оазисе Ларсеманн были отобраны шестьдесят семь проб воды на содержание в них растворенного органического вещества, пятьдесят девять проб на содержание анионов и катионов, во время отбора проб выполнены экспресс-анализы гидрохимических параметров (электропроводность, водородный показатель, растворенный кислород). В точках размещения водомерных постов проводились срочные гидрологические наблюдения, во время которых фиксировалась температура воды рассматриваемых водных объектов (Иващенко, 2018). В ходе сезонных работ 63 РАЭ в оазисе Ширмахера были отобраны двадцать семь проб на растворенное органическое вещество, тридцать проб на содержание анионов и катионов, во время отбора проб выполнены экспресс-анализы гидрохимических параметров (водородный показатель). В точках размещения водомерных постов проводились срочные гидрологические наблюдения, во время которых фиксировалась температура воды рассматриваемых водных объектов (Дворников, 2017). В ходе 65 РАЭ на острове Кинг-Джордж были отобраны пробы воды на мутность, содержание катионов и анионов, содержание биогенных элементов (Федорова, 2020).

4 АНАЛИЗ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

4.1 Гидрохимический режим озер оазиса Ларсеманн Хиллс

Температура воды. В ходе сезонных работ в период с 06.01.2017 по 12.02.2018 были отобраны пробы воды из озер Прогресс, Степед, Сибхорп, Лоу, Скандретт, Рейд и некоторых других. Данные по температуре воды озёр крайне неоднородны. Коэффициент вариации составляет 60%. В соответствии с данными экспедиционных наблюдений 2017-2018 гг. максимальная температура составила 13.2 °С, а минимальная – 0.2 °С. Амплитуда температур довольно высокая – 13 °С. Это объясняется глубиной озер оазиса. Мелкие озера прогреваются быстрее, и температура их вод достигает больших значений по сравнению с температурой вод глубоких озёр. Также на температуру оказывают влияние талые воды, поступающие с водосбора. Для приледникового озера Прогресс средняя температура составила 4.2 °С, для озера Сибхорп – 3.4 °С, для озера Лоу – 6.4 °С, для озера Скандретт – 5 °С, для озера Рейд – 8 °С, для озера Степед – 6.8 °С, для озера Брювайлер – 4.5 °С, для озера Ловеринг – 3.3 °С, для озера Камерон – 6.5 °С, для озера Дискашн – 7.4 °С, для озера Верхнее – 6.9 °С. Почти для всех озер характерно понижение температуры к концу сезона, что, вероятно, связано с увеличением поступления талых вод со снежников, которые имеют более низкие температуры. Для некоторых озер наблюдается обратная термическая стратификация. Например, по измерениям 10.01.2017 в озере Сибхорп температура поверхностного слоя составляет 1.9 °С, температура на трехметровой глубине – 2.7 °С, температура на шести метрах глубины – 3.6 °С. Для озера Прогресс также наблюдается обратная термическая стратификация. Температура поверхностного слоя – 3.9 °С, температура на глубине три метра – 4.1 °С, температура на глубине тридцать два метра – 4.5 °С.

Водородный показатель(рН). По концентрации ионов водорода озера оазиса Ларсеманн Хиллс имеют слабокислую, нейтральную и слабощелочную среду. Преобладают озера с нейтральной средой. Значения рН колеблются от 5.26 до 9.33. При этом с глубиной рН

уменьшается. Данные по концентрации ионов водорода отличаются однородностью. Коэффициент вариации - 10%.

Минерализация. По данным 57 российской антарктической экспедиции 2013 года минерализация озёр варьируется от 0 мг/л до 880 мг/л, но есть и солоноватые озёра с минерализацией до 1690 мг/л. Максимальное значение минерализации было зафиксировано в озере Лоу. Данные при этом отличаются крайней неоднородностью. Коэффициент вариации - 131%.

Электропроводность. По данным 62 РАЭ (2017-2018 гг.) электропроводность вод в среднем составляет 271 мкСм/см, это свидетельствует о том, что большинство озёр оазиса пресные. Однако имеется несколько солёных озёр с высокой электропроводностью. Максимальная электропроводность была зафиксирована в озере Лоу - 2920 мкСм/см, минимальная электропроводность - 25 мкСм/см. Возможно, повышенная электропроводность некоторых озёр в летний период связана с отсутствием снежников на водосборах и, соответственно, малым поступлением талых вод. Коэффициент вариации, составляющий 138%, говорит о неоднородности данных по электропроводности.

Растворенный кислород (O₂) и биогенные элементы. Содержание растворенного кислорода в среднем в водах составило 7.42 мг/л с амплитудой от 5.07 мг/л до 10.63 мг/л. Коэффициент вариации 14% свидетельствует о слабой изменчивости данного показателя. Измерение содержания биогенных элементов фосфатов (PO₄), нитратов (NO₃), аммония (NH₄) показало довольно низкие значения. Среднее значение фосфатов - 0.04 мг/л, среднее значение нитратов - 0.02 мг/л, среднее значение аммония - 0.04 мг/л. При этом в разных озерах отмечается широкий диапазон концентраций биогенных элементов. Коэффициенты вариации для всех биогенных элементов превышают 100%. Так содержание фосфатов варьируется от 0 мг/л до 1.39 мг/л. Максимальное количество фосфатов наблюдалось в пробе озера Степед от 12.02.2017. В озере Скандретт в пробе от 26.01.2017 содержание фосфатов составило 0.02 мг/л., в остальных пробах содержание фосфатов не обнаружено. Содержание нитратов изменяется от 0 мг/л до 0.19 мг/л. В озере Прогресс в пробе от 26.01.2017 зафиксировано 0.02 мг/л, в

остальных пробах из этого озера нитратов не было обнаружено. В озере Верхнее в пробе от 06.01.2017 было обнаружено 0.03 мг/л нитратов, в остальных пробах нитратов также не было обнаружено. Содержание аммония колеблется от 0 мг/л до 0.34 мг/л. Максимальное содержание аммония было обнаружено в пробе озера Степпед от 12.02.2017. В озере Верхнее было обнаружено 0.29 мг/л. В озере Рейд - 0.12 мг/л аммония. В остальных озерах аммония обнаружено не было. Низкие содержания биогенных элементов в большинстве озёр могут быть связаны с низкой биологической продуктивностью озёр в связи с суровым климатом.

Корреляция между гидрохимическими показателями.

Корреляционный анализ показал, что зависимость между рН и электропроводностью есть, и ее можно охарактеризовать как прямую высокую. Коэффициент корреляции - 0.7. Также корреляционный анализ показал умеренную прямую зависимость между рН и температурой воды. Коэффициент корреляции - 0.46. Корреляционный анализ других показателей не выявил ни каких связей. Для всех параметров медиана и мода меньше среднего, что говорит о том, что данные не подчиняются нормальному закону распределения. При этом данные имеют положительную асимметрию (коэффициент асимметрии больше 0).

Ниже в таблицах 1 - 2 представлены статистические параметры гидрохимических показателей озёр оазиса Ларсеманн Хиллс, в таблице 3 преведена корреляционная матрица гидрохимических параметров.

Таблица 1. Статистические параметры гидрохимических показателей озёр оазиса Ларсеманн Хиллс ХОазис Ларсеманн Хиллс							
	температура, °С	электропроводность, мкСм/см	кислород, мг/л	рН	PO ₄ мг/л	NO ₃ мг/л	NH ₄ мг/л
среднее	5.39	271*	7.42	7.28	0.04	0.02	0.04
		568.52**					
max	13.2	2920	10.63	9.33	1.06	0.19	0.29
min	0.2	25	5.07	5.26	0.00	0.00	0.00
амплитуда	13	2895	5.56	4.07	1.06	0.19	0.29
дисперсия	10.37	52433.44*	1.13	0.50	0.03	0.00	0.00
		613583.20**					
Cv	59%	84%*	14%	9%	441%	241%	171%
		137%**					

Cs	0.19	2.09	0.79	0.60	5.44	3.25	2.26
мода	4.6	143	6.35	7.03	0.00	0.00	0.00
медиана	4.6	173	7.21	7.145	0.00	0.00	0.01

* значение без учёта солёных озёр

**значение с учётом солёных озёр

Таблица 2. Статистические параметры минерализации озёр оазиса Ларсеманн Хиллс (57 РАЭ)

Оазис Ларсеманн Хиллс	
	Минерализация, мг/л
среднее	273
max	1690.4
min	0
амплитуда	1690.4
дисперсия	129074.8
Cv	131%
Cs	1.83

Таблица 3. Корреляционная матрица гидрохимических параметров

	pH	Эл-ть, мкСм/см	O ₂ мг/л	NO ₃ мг/л	PO ₄ мг/л	NH ₄ мг/л
pH	1	0.71	-	-0.06	-0.01	-0.19
Электропроводность, мкСм/см	-	1	-	-0.05	-0.08	0.01
O ₂ , мг/л	-0.06	-0.19	1	-0.01	0.05	-0.16
NO ₃ , мг/л	-	-	-	1	-0.05	0.11
PO ₄ , мг/л	-	-	-	-	1	0.35
T, °C	0.47	0.38	-0.10	-0.18	0.12	-0.02

4.2 Гидрохимический режим озёр оазиса Ширмахера

В оазисе Ширмахера для анализа в данной работе были взяты гидрохимические данные для озёр: Глубокое, Красное, Смирнова, Зигзаг, Зеркальное, Привальное, Станционное, Подпрудное, Поморник, Искристое, Западное, Диатовое, Длинное, Сбросовое, Геодезистов, Верхнее и Зуб. Пробы в оазисе Ширмахера отбирались в период с 23.12.2017 по 21.01.2018. (Дворников, 2017)

Температура воды. Данные по температуры имеются только для озёр Верхнее, Глубокое, Смирнова и Поморник. Температура вод в озере Верхнее в среднем составила 3.3 °C, в озере Поморник – 2.6 °C, в озере

Глубокое - 2.5 °С. При этом максимальная температура наблюдалась в озере Верхнее и составляла 3.4 °С, а минимальная в озере Смирнова - 0.6 °С. Озеро Верхнее самое теплое поскольку в сезон оно было полностью освобождено ото льда. Озеро Смирнова имеет низкую температуру вод, поскольку контактирует с ледником. В озерах Верхнее, Глубокое и Поморник были взяты пробы с разных глубин. Так в озере Верхнее температура верхнего слоя составила 3.2 °С, а температура на глубине шесть метров составила 3.4 °С. В озере Глубокое температура верхнего слоя составила 2.3 °С, а на глубине двадцать метров - 2.8 °С. В озере Поморник температура верхнего слоя составила 2.5 °С, а температура на глубине девять метров - 2.8 °С. Для озёр оазиса Ширмахера характерна обратная термическая стратификация. Данные по температуре озёр варьируются умеренно, что демонстрирует коэффициент вариации 36%.

Водородный показатель(рН). По концентрации ионов водорода озера оазиса Ширмахера относятся к нейтральным и слабощелочным. рН варьируется от 6.7 до 8.4. Преобладают озера с нейтральной средой. Для озера Верхнее пробы были отобраны дважды. Первый отбор проб был осуществлен в начале третьей декады декабря, второй отбор проб был осуществлен в середине летнего сезона. В первый раз концентрация ионов водорода составила 7.7, а во второй повысилась до 8.3. Повышение рН к середине летнего сезона можно объяснить поступлением с для озера вод, текущих в щелочных породах. Данные по электропроводности и содержанию кислорода в озерах оазиса Ширмахера за данный период отсутствуют.

Содержание биогенных элементов. Данные по содержанию биогенных элементов в разных озёрах крайне неоднородны. Коэффициенты вариации составляют 548% для фосфатов, 270% для нитратов, 172% для аммония. Среднее содержание фосфатов в озерах составило 0.001 мг/л, при этом, например, в озере Верхнее содержание фосфатов в пробе отобранной 19.01.2018 составило 0.03 мг/л, а в пробе отобранной 23.12.2017 содержание фосфатов не было обнаружено. Среднее содержание нитратов в озерах составило 0.44 мг/л, при этом в озере Верхнее на глубине шесть метров в середине летнего сезона концентрация составила 5.87 мг/л, что в 30 раз превышает среднее

значение, в поверхностном же слое озера Верхнее концентрация нитратов составила 0.12 мг/л. Увеличение концентрации нитратов с глубиной наблюдается и в озере Глубокое, так в поверхностном слое озера Глубокое нитратов обнаружено не было, а на глубине двадцать метров концентрация составила 0.02 мг/л. Обратная ситуация наблюдается в озере Поморник. В поверхностном слое озера Поморник концентрация нитратов составила 2.56 мг/л, а на глубине девять метров концентрация нитратов составила 1.02 мг/л. В озёрах наблюдается также сезонная динамика концентрации нитратов, так в озерах Верхнее и Поморник в начале летнего сезона нитратов не было обнаружено, а в озере Глубокое концентрация нитратов составила 0.02 мг/л, что меньше, чем в середине летнего сезона. Средняя концентрация аммония в озерах 0.03 мг/л, но, например, в озере Диатовое концентрация аммония составила 0.2 мг/л, что в 6 раз превышает среднее значение. Прослеживается изменение концентрации аммония с глубиной. В озере Верхнее в поверхностном слое концентрация аммония составила 0.02 мг/л, а на глубине шесть метров концентрация аммония увеличилась до 0.03 мг/л. В озере Глубокое зависимость между глубиной и концентрацией аммония обратная. В поверхностном слое озера Глубокое концентрация аммония, согласно полученным данным, составила 0.06 мг/л, а на глубине двадцать метров этот показатель 0 мг/л. Причиной повышенного содержания биогенных элементов в озере Глубокое является сток с расположенных выше на водосборе камбуза и бани станции Новолазаревская.

Корреляционный анализ гидрохимических показателей.

Корреляционный анализ показал умеренную прямую связь между температурой и содержанием фосфатов и рН и содержанием фосфатов. Коэффициент корреляции составляет 0.42 и 0.33 соответственно. Корреляционный анализ показал наличие связи между содержанием нитратов и температурой. Ее можно охарактеризовать как прямую умеренную (коэффициент корреляции 0.44). Корреляционный анализ показал наличие сильной обратной связи между содержанием аммония и температурой (коэффициент корреляции составляет -0.69) и умеренной прямой связи между концентрацией аммония и рН (коэффициент корреляции 0.38). Корреляционный анализ показал

сильную прямую связь между концентрацией NO₃ и PO₄ (коэффициент корреляции 0.9). Для всех параметров, кроме температуры воды, среднее значение больше моды и медианы (среднее значение температуры меньше медианы и моды), что говорит об их неподчинении стандартному закону распределения. Все данные кроме температуры имеют положительную асимметрию. Температура имеет отрицательную асимметрию. Ниже в таблицах 4-5 представлены статистические параметры гидрохимических показателей озёр оазиса Ширмахера и корреляционная матрица гидрохимических параметров соответственно.

Таблица 4. Статистические параметры гидрохимических показателей озёр оазиса Ширмахера

	температура, °C	pH	NH ₄ мг/л	PO ₄ мг/л	NO ₃ мг/л
среднее	2.51	7.58	0.03	0.00	0.44
max	3.4	8.4	0.200	0.03	5.87
min	0.6	6.7	0.000	0.00	0
амплитуда	2.8	1.7	0.200	0.03	5.87
дисперсия	0.85	0.19	0.00	3.9E-05	1.4112
Cv	37%	6%	172%	548%	270%
Cs	-1.76	0.16	2.40	5.48	4.01
мода	2.8	7.5	0	0	0
медиана	2.8	7.5	0.01	0.00	0.06

Таблица 5. Корреляционная матрица гидрохимических параметров

	T, °C	pH	NH ₄ мг/л	PO ₄ мг/л	NO ₃ мг/л
T, °C	1	0.64	-0.69	0.42	0.45
pH	-	1	0.38	0.33	0.29
NH ₄ мг/л	-	-	1	0.02	-0.08
PO ₄ мг/л	-	-	-	1	0.90

4.3 Гидрохимический режим озер оазиса Кинг Джордж

В ходе 65 РАЭ были отобраны пробы воды из 132 озер острова Кинг-Джордж. Пробы отбирались в период с 19.01.2020 по 22.02.2020.

Температура воды. Температура в озёрах в период отбора проб варьировалась от озера к озеру. Коэффициент вариации составляет 41%. В

среднем температура озер составляла 7.5 °С. При этом максимальная температура составила 15.9 °С, минимальная – 0.1 °С. Такое различие связано с глубиной озёр. Озеро, в котором наблюдалась температура 15.9 °С мелкое, не глубже двадцати сантиметров. Именно из-за небольшой глубины и нахождения в озере темно-бурых матов оно смогло так сильно прогреться. Озеро с температурой 0.1 °С – криоконит на поверхности ледника. Низкая температура в озерах связана с близостью ледника.

Водородный показатель (рН). Крайне однородны получены показатели рН, коэффициент вариации составляет всего 8%. По концентрации ионов водорода выделяются нейтральные, слабощелочные и сильнощелочные озёра. Преобладают озера с нейтральной средой. Максимальная концентрация ионов водорода – 10.05. Столь высокие показатели рН характерны для лагунных озёр острова Кинг-Джордж.

Растворенный кислород (O₂). Концентрация кислорода от озера к озеру варьируется сильно, коэффициент вариации составляет 64%. В среднем концентрация составила 10.83 мг/л, максимальное содержание растворенного кислорода составило 13.82 мг/л. Насыщение кислородом при этом соответствовало в среднем 85%, максимальное насыщение кислородом – 137%. Для многих озёр характерно насыщение кислородом более 100%, что является отличительной чертой антарктических озёр, поступление воды в которые обусловлено в основном талыми снежниковыми и ледниковыми водами, обогащенными растворенным кислородом.

Электропроводность и содержание биогенных элементов. Большинство озёр острова Кинг-Джордж пресные, об этом свидетельствуют данные об электропроводности, средняя электропроводность составляет 288 мкСм/см. Однако, есть и солёное озеро электропроводность которого составила 10200 мкСм/см. Озеро, в котором наблюдалась такая высокая электропроводность, неглубокое до пятнадцати сантиметров глубиной, возможно, высокая электропроводность связана именно с этим. Содержание биогенных элементов значительно варьируется от озера к озеру, так коэффициент вариации содержания фосфатов равен 112%, коэффициент вариации содержания нитратов равен 355%. Содержание фосфатов довольно

высоко, в среднем концентрация фосфатов составляет 0.92 мг/л с амплитудой от 0 мг/л до 8.04 мг/л. Максимальное значение концентрации в 9 раз превышает среднее значение. Среднее содержание нитратов составляет 0.6 мг/л с амплитудой от 0 мг/л до 11.5 мг/л. Максимальное значение концентрации нитратов в 19 раз превышает среднее значение.

Цветность и мутность. Для озёр острова Кинг Джордж также были определены такие параметры как цветность и мутность. Данные по этим параметрам варьируются значительно, коэффициент вариации для цветности составляет - 195%, для мутности - 163%. Цветность варьировалась от 0° до 420°. Максимальная цветность наблюдалась в неглубоком глубиной пятнадцать сантиметров озере с обильным присутствием матов. Мутность варьировалась от 0 ЕМ до 72.62 ЕМ. Максимальная мутность наблюдалась в неглубоком озере с глубиной двадцать сантиметров с обильным присутствием матов. Для данных по рН, электропроводности, нитратов, фосфатов, мутности, цветности мода и медиана больше среднего значения, для температуры, кислорода наоборот, среднее значение больше. Это говорит о том, что данные не подчиняются нормальному закону распределения. Все данные, кроме насыщенности кислородом, имеют положительную асимметрию.

Корреляционный анализ гидрохимических показателей. В ходе корреляционного анализа было выявлено, что между содержанием нитратов и мутностью есть зависимость. Ее можно охарактеризовать как сильную прямую, так как коэффициент корреляции 0.71. Было выявлено также наличие умеренной прямой связи между содержанием нитратов и фосфатов и между содержанием фосфатов и цветностью, коэффициенты корреляции составили 0.46 и 0.38 соответственно.

Ниже в таблицах 6 -7 представлены Статистические параметры гидрохимических показателей озёр острова Кинг Джордж и корреляционная матрица гидрохимических параметров.

Таблица 6. Статистические параметры гидрохимических показателей озёр острова Кинг Джордж.

	рН	t, °C	эл-ть, мкСМ/см	O ₂ , мг/л	O ₂ , %	NO ₃ , мг/л	PO ₄ , мг/л	цветность, град.	мутность, ЕМ
среднее	7.56	7.51	288.47	10.83	85.63	0.61	0.93	25.97	6.48

значение									
медиа на	7.40	7.10	166.00	10.67	90.4 0	0.00	0.78	9.87	3.38
мода	7.37	8.60	112.00	12.10	90.5 0	0.00	0.00	0.00	0.00
max	10.0 5	15.9 0	10200. 00	13.82	137.2 0	11.50	8.04	420.0 0	72.6 2
min	6.47	0.10	0.00	6.05	9.62	0.00	0.00	0.00	0.00
ампли туда	3.58	15.8 0	10200. 00	7.77	127.5 8	11.50	8.04	420.0 0	72.6 2
диспер сия	0.40	9.40	790843. 44	47.59	442.9 4	4.65	1.09	2568.8 4	111.6 4
станда ртное отклон ение	0.63	3.07	889.29	6.90	21.0 5	2.16	1.04	50.68	10.5 7
Cv, %	8	41	308	64	25	355	112	195	163
Cs	1.45	0.57	10.82	9.95	-0.79	4.18	3.36	5.01	3.93

Таблица 7. Корреляционная матрица гидрохимических параметров

	эл-ть, мкСМ/см	pH	O2, мг/л	NO3, мг/л	PO4, мг/л	Мутнос ть, ЕМ	Цветнос ть, °
эл-ть, мкСМ/ см	1	0.21	0.00	0.15	0.03	0.03	-0.03
pH	-	1	-0.12	0.30	0.01	0.03	0.05
O2 мг/ л	-	-	1	-	-	-0.05	0.11

NO3 мг/л	-	-	0.17	1	0.46	0.71	-0.04
PO4 мг/л	-	-	-0.10	-	1	0.08	0.38
T, °C	0.05	0.10	0.12	-0.06	0.21	-0.10	0.02

5 СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПДК

5.1 Сравнение концентрации биогенных элементов в пробах воды с рыбохозяйственными ПДК.

Для озёр оазисов Ширмахера, Ларсеманн Хиллс, острова Кинг Джордж было выполнено сравнение показателей концентрации биогенных элементов с рыбохозяйственным ПДК.

Фосфаты. В оазисе Ларсеманн Хиллс выявлено два озера, в которых превышены рыбохозяйственные ПДК. В озере LN-10 содержание фосфора составило 0.34 мг/л. В озере Степед содержание фосфора составило 0.45 мг/л. ПДК по содержанию фосфатов в пересчёте на фосфор составляют 0.05 мг/л для олиготрофных озёр, 0.15 мг/л для мезотрофных озёр и 0.2 мг/л для эвтрофных озёр. Согласно литературным источникам (Нигаматзянова, Федорова 2015), озера оазиса являются олиготрофными, получается, что озеро LN-10 превышает ПДК для олиготрофных озёр в 6.8 раз, а озеро Степед – в 9 раз. В озёрах оазиса Ширмахер превышений рыбохозяйственных ПДК не выявлено. На острове Кинг-Джордж в сто одном озере выявлено превышение рыбохозяйственных ПДК по фосфору. Наибольшее превышение рыбохозяйственных ПДК по фосфору наблюдалось в озёрах Террасовое, Радостное, Снежное, и Ардли. Максимальное превышение оказалось в озере Террасовое, концентрация фосфора в нем составила 2.57 мг/л, что в 51.4 раза превышает рыбохозяйственные ПДК для олиготрофных озёр. В озере Радостное концентрация фосфора составила 1.24 мг/л, что в 24.8 раз превышает рыбохозяйственные ПДК для олиготрофных озёр. В озере Снежное концентрация фосфора составила 1.22 мг/л, размер этого показателя в 24.4 раза превышает рыбохозяйственные ПДК для олиготрофных озёр. В озере Ардли концентрация фосфора составила 1.5 мг/л, это в 30 раз превышает рыбохозяйственные ПДК для олиготрофных озёр. В озере Ардли отмечается поступление биогенных элементов от воздействия пингвинов, так как озеро расположено вблизи их колоний.

Нитраты. Рыбохозяйственные ПДК по нитратам составляют 40 мг/л. В озерах острова Кинг Джордж таких значений зафиксировано не было. В озёрах оазиса Ширмахер и оазиса Ларсеманн Хиллс таких значений также выявлено не было.

Аммоний. Рыбохозяйственные ПДК аммония составляют 0.5 мг/л. В озерах оазисов Ларсеманн Хиллс и Ширмахера превышений ПДК не обнаружено. Для озёр острова Кинг Джордж данных по содержанию аммония нет.

Таким образом, сравнивая водные объекты можно сделать вывод, что наиболее токсикологически загрязнёнными являются озёра острова Кинг-Джордж. Показатели биогенных элементов по сто одному озеру из ста тридцати двух исследованных озёр превышают рыбохозяйственные ПДК по фосфору, по четырём озерам превышают рыбохозяйственные ПДК более, чем в 20 раз. Высокое содержание органических веществ может привести к гибели живых организмов, населяющих данные водоёмы.

5.2 Сравнение концентрации биогенных элементов в пробах воды с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Фосфаты. ПДК фосфатов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 3.5 мг/л. В озерах оазисов Ларсеманн Хиллс и Ширмахера превышений концентрации биогенных элементов над ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования не обнаружено. В четырех озёрах острова Кинг Джордж зафиксированы превышения концентрации биогенных элементов над ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Это озёра Снежное – 3.83 мг/л, Террасовое – 8.04 мг/л, Ардли – 4.72 мг/л и Радостное – 3.88 мг/л.

Нитраты. ПДК нитратов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 45 мг/л. Превышений концентрации нитратов ни в озёрах острова Кинг-Джордж,

ни в озёрах оазиса Ширмахера, ни в озёрах оазиса Ларсеманн Хиллс не обнаружено.

Таким образом, сравнивая содержание биогенных элементов в водных объектах, можно сделать вывод, что озёра Террасовое, Снежное и Ардли не пригодны для использования в целях культурно-бытового и хозяйственно-питьевого водоснабжения. В настоящее время эти озёра не используются для водозабора. Водозабор на станции Беллинсгаузен осуществляется из озёр Китеж, Глубокое и Пингвинье.

Резюмируя данную главу, можно сделать вывод о том, что поскольку озеро Степед LN-10 оазиса Ларсеманн Хиллс подвержено минимальной антропогенной нагрузке (Хамитов, Шадрина. 2019) концентрация биогенных элементов повышена по естественным причинам. Причиной превышения рыбохозяйственных ПДК в данных озёрах является поступление с водозбора талых вод, насыщенных биогенными элементами, и так как климат оазисов отличается высоким испарением за счет испарения воды, концентрация биогенных элементов в озерах после испарения повышается. Озеро Степед же подвержено антропогенной нагрузке в районе научно-исследовательских станций, в особенности в районе китайской станции Зонг-Шан. Повышенная концентрация биогенных элементов в этом озере вызвана не столько естественным, сколько антропогенным фактором. Озёра острова Кинг-Джордж, в которых были зафиксированы превышения как рыбохозяйственных, так и санитарно-бытовых ПДК также подвержены минимальной антропогенной нагрузке, что позволяет сделать вывод о воздействии на них естественного фактора. В водах озёр Террасовое, Ардли, Снежное и Радостное отмечено большое содержание матов, рачков, зелёных и коричневых водорослей. Это позволяет сделать выводы о том, что именно разложение отмершей органики приводит к повышению концентрации биогенных элементов в воде.

Заключение

Подводя итоги, стоит отметить, что глобальное изменение климата и повышенная антропогенная нагрузка, вызванная увеличением интереса к Антарктиде среди туристов, а также обеспечением работы научно-исследовательских станций, оказывают на Антарктиду и водные объекты существенное воздействие. В данной работе был составлен краткий физико-географический очерк исследуемой территории и рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование гидрохимического режима озёр. В работе был проведен статистический анализ показателей гидрохимического режима озёр антарктических оазисов Ширмахера, Ларсеманн Хиллс и озёр острова Кинг Джордж. Для большинства озёр характерно повышение температуры воды к концу сезона, обратная термическая стратификация. По водородному показателю озёра всех исследуемых объектов относятся к

нейтральным и слабощелочным, некоторые озёра острова Кинг Джордж относятся к сильнощелочным, некоторые озёра оазиса Ларсеманн Хиллс относятся к слабокислым. Воды исследуемых озёр насыщены кислородом. Большинство озёр пресные. Далее было проведено сравнение концентраций биогенных элементов таких как фосфаты, нитраты, аммоний в исследуемых озёрах с рыбохозяйственными ПДК и с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. На основании сравнительного анализа были выявлены водные объекты, в которых допустимые концентрации биогенных элементов были превышены, сделаны заключения о причинах превышения предельно допустимых концентраций биогенных элементов в озёрах. Из трёх исследуемых объектов наименее загрязнёнными оказались озёра оазиса Ширмахера, в водоёмах которого не было обнаружено превышений по содержанию биогенных элементов. В оазисе Ларсеманн Хиллс только в двух озёрах из 81 было отмечено превышение концентрации биогенных элементов над рыбохозяйственными ПДК по фосфатам, и ни в одном озере не было отмечено превышение концентрации биогенных элементов над ПДК по фосфатам в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Поскольку озеро LH-10 оазиса Ларсеманн Хиллс не подвержено значительной антропогенной нагрузке, были сделаны выводы о естественном повышении концентрации биогенных элементов, вызванном притоком насыщенных талых вод. В озере Степед превышение ПДК связано с антропогенной нагрузкой, оказываемой на озеро со стороны научно-исследовательских станций. Самыми загрязнёнными из исследуемых объектов оказались озёра острова Кинг Джордж. В сто одном озере из ста тридцати двух было отмечено превышение рыбохозяйственных ПДК по фосфатам и в четырех озёрах было зафиксировано превышение ПДК по фосфатам в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Эти озёра также не подвержены значительной антропогенной нагрузке, что позволяет сделать выводы о естественных изменениях концентрации биогенных элементов. В данных озёрах отмечалось присутствие значительного количества живых организмов, что позволило сделать выводы о повышении концентрации биогенных

элементов в результате разложения органического вещества. Исходя из всего вышесказанного, можно заключить, что несмотря на антропогенную нагрузку, оказываемую на Антарктиду и водные объекты оазисов, контроль за состоянием окружающей среды и меры по ее охране позволяют избежать негативных последствий антропогенной нагрузки. Глобальное изменение климата приводит к увеличению концентрации биогенных элементов и превышение предельно допустимых концентраций биогенных элементов происходит по естественным причинам, что в дальнейшем может вызывать усиление естественной эвтрофикации озёр.

Список литературы

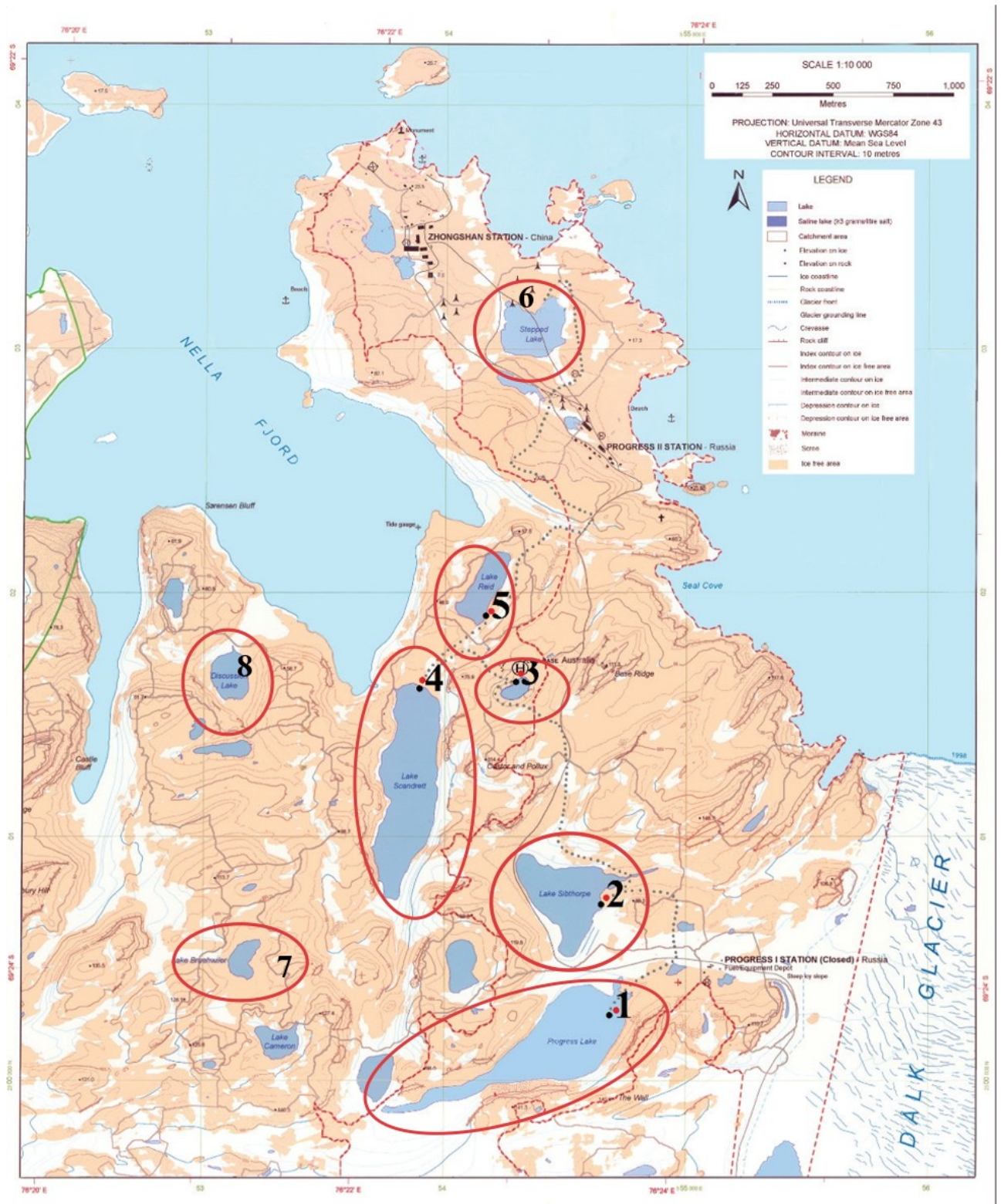
1. Абакумов, Е.В., Крыленков В.А. / Почвы Антарктиды. 2011; № 3. с. 58-62.
2. Абрамов А.А., Слеттен Р.С., Ривкина Е.М., Миронов В.А., Гиличинский Д.А. Геокриологические условия Антарктиды. // Криосфера Земли, 2011. т. XV, №3, с.3-19.
3. Глазовская, М.А. Выветривание и почвообразование в Антарктиде. Научные доклады высшей школы геолого-географические науки, 1958 том I.
4. Грикуров Г.Э., Лейченков Г.Л., Михальский Е.В. Тектоническая эволюция Антарктиды в свете современного состояния геодинамических идей. // Строение и история развития литосферы, 4 том трудов МПГ. – М.: Paulsen, 2010. – С. 91-110.
5. Дворников Ю.А. Научно-технический отчет по программе гидроэкологических исследований на станции Прогресс в сезонный период 62-й РАЭ, 2017
6. Дубровин Л.И., Петров В.Н. Научные станции в Антарктике. Гидрометиздат, 1967. с.282.
7. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988, 239 с.
8. Иващенко А.И. Научно-технический отчет по программе гидроэкологических исследований на станции Новолазаревская в сезонный период 63-й РАЭ, 2018
9. Короткевич Е.С. Полярные пустыни. Л.: Гидрометеиздат 1972, 420 с.
10. Ласточкин, А.Н.; Попов, С.В. / Геоморфологическое районирование Антарктики. В: Вестник Санкт-Петербургского университета. серия 7: геология, география. 2004; № 3. стр. 26-42.
11. Нигматзянова Г.Р., Федорова И.В. оценка экологического состояния озер оазисов холмов Ларсеманн и Ширмахера (Восточная Антарктида)// Успехи современного естествознания. 2015 №12. с. 140-144
12. Сократова И. Н. История открытия и исследований антарктических оазисов (начало XX в.-начало XXI в.) : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук : специальность 07.00.10 <История науки и техники> / Сократова Ирина Николаевна ; [Ин-т истории

- естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН]. - Москва, 2008. - 24 с. ; 21 см.. - Библиогр.: с. 21-23 (45 назв.)
13. Симонов И.М. Оазисы восточной Антарктиды. Л.: Гидрометеоздат 1971, 176 с.
 14. Скороспехова Т.В., Федорова И.В., Четверова А.А., Алексеева Н.К., Веркулич С.Р., Ижиков И.С., Козачек А.В. Особенности гидрохимического режима водных объектов полуострова Файлдс (О.Кинг Джордж, Западная Антарктика) // Проблемы Арктики и Антарктики 2016 №2 с. 79-91
 15. Федорова И.В. Современное состояние и устойчивость к воздействию внутренних водоемов Антарктиды: Дис.кан.геогр. наук:25.00.36, 25.00.27. СПб., 2003. 236 с.
 16. Bargagli R. Antarctic ecosystems: Environmental contamination, climate change and human impact. Ecological Studies 175. Springer (2005) ISBN 3 540 22091 7. Antarctic Science, 17(4), 570-570.
 17. Bergstrom, P. Convey & A.H.L. Huiskes. Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems: Antarctica as a global indicator. D.M. Springer, Dordrecht, 2006. ISBN 978-1-4020-5276-7, 369 pp. Antarctic Science, 20(6), 611-612.
 18. Laybourn-Parry, Johanna, Pearce, David A. The biodiversity and ecology of Antarctic lakes: models for evolution. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B / 362, 2273-2289.
 19. Pearce, David A. and Pierre E Galand. "Microbial biodiversity and biogeography." (2008).
 20. Reinhard Pienitz, Peter T. Doran, Scott F. Lamoureux. Origin and geomorphology of lakes in the polar regions. 2009
 21. Riddle, M. (2009). The Antarctic Treaty System and Wildlife Health: Disease Awareness, Prevention and Response
 22. Warwick F. Vincent & Johanna Laybourn-Parry. Polar Lakes and Rivers - Limnology of Arctic and Antarctic Aquatic Ecosystems. Oxford University Press, 2008. ISBN 978-0-19-921388-7, 327 pp, Antarctic Science, 21(2), 175-176.

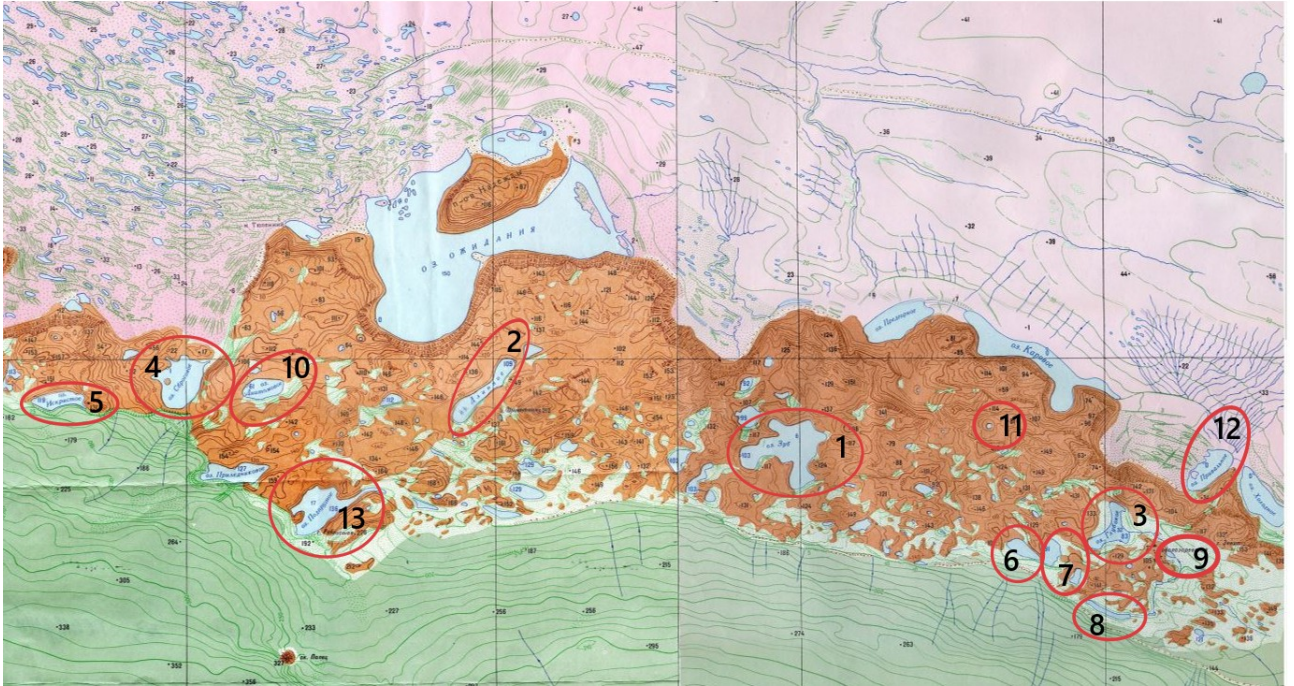
Основное название	Класс	Вид
Абляционн ый	Низменный	Пришельфов ый
Бангера	Низменный	Пришельфов ый
Бёркс	Низменный	Приморский
Вестфолль	Низменный	Приморский
Вечерний	Низменный	Приморский
Виктории	Горный	-
Говард	Низменный	Пришельфов ый
Грирсона	Низменный	Приморский
Дэнисон	Низменный	Приморский
Коновалов а	Низменный	Приморский
Ларсеманн	Низменный	Приморский
Лютцов- Хольм	Низменный	Приморский
Мередит	Горный	-
Молодежн ый	Низменный	Приморский
Никитина	Низменный	Пришельфов ый
Обручева	Низменный	Пришельфов ый
Полканова	Низменный	Приморский
Райт	Горный	-
Тейлор	Горный	-
Терешково й	Низменный	Приморский
Унтер-Зе	Горный	-
Ширмахер а	Низменный	Пришельфов ый
Эймери	Горно- долинный	-

Приложения
 Приложение 1.
 Классификация
 Антарктических оазисов

Приложение 2. Карта Оазиса Ларсеманн с отмеченными озёрами

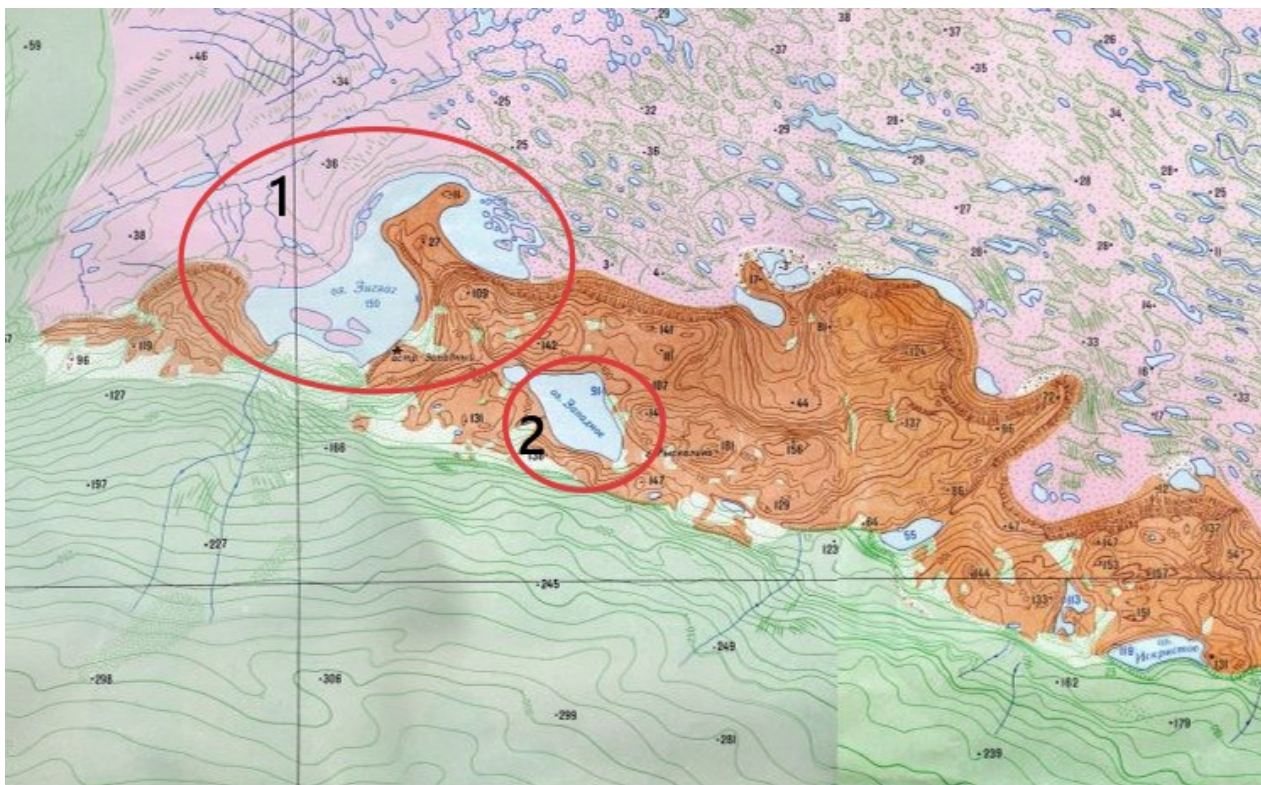


Прогресс (1) - Сибхорп (2) - Лоу (3) - Скандретт (4) - Рейд (5) - Стенпед (6) - Брьюайлер (7) - Дискашн (8)



Зуб (1) - Длинное (2) - Глубокое (3) - Сбросовое (4) - Искристое (5) - Смирнова
(6) - Поморника (7)
Верхнее (8) - Станционное (9) - Диатомовое (10) - Красное (11) - Привальное (12)
- Подпрудное (13)

Приложение 4. Карта оазиса Ширмахера с отмеченными озёрами (продолжение)



Зигзаг (1) - Западное (2)

Приложение 4. Карта острова Кинг Джордж с некоторыми озёрами



Китеж (1) - Глубокое (2)