

Санкт-Петербургский государственный университет

АКИЛОВ Евгений Вячеславович

Выпускная квалификационная работа

**РАЗРАБОТКА СУБД ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА НАУК О ЗЕМЛЕ СПБГУ
НА ОЗЕРНО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ
АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ И АЛТАЯ**

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.04 «Гидрометеорология»

Основная образовательная программа магистратуры:

ВМ.5745.2019. «Опасные гидрологические явления: от мониторинга до принятия
решений (ГОЯ)»

Научный руководитель:

доцент, к.г.н. ПРЯХИНА Г.В.

Научный консультант:

старший преподаватель, Четверова А.А.

Рецензент: Скороспехова Т.В.

Санкт – Петербург 2021

Оглавление

Введение.....	3
1. Современное состояние проблемы исследования	5
1.1. Обзор СУБД по гидрологии.....	5
1.2. Озерно-гляциальные комплексы	14
1.2.1. Холмы Ларсеманна	20
1.2.2. Монгун-Тайга	23
1.2.3. Цамбагарав.....	24
2. Материалы и методы	28
2.1. Проектирование и создание СУБД MS Access	28
3. Пример применения СУБД. Разработка композитного индекса прорывоопасности на основе многокритериальной классификации.	37
3.1. Обзор параметров прорывоопасности озер.....	38
3.2. Апробация композитного индекса прорывоопасности на примере озер оазиса Холмы Ларсеманн	50
Заключение	59
Благодарности.....	62
Список литературы	63
Приложения	71

Введение

Сегодня информация накапливается стремительно и в больших объемах, существующий быстрый темп работы и жизни в целом, диктует условия необходимости быстрого и понятного доступа к информации. Для организации хранения, обработки и связи данных с пользователями или с другими программно-аппаратными комплексами используются такие организованные структуры, как базы данных. Они широко применяются в научной среде для решения прикладных задач. Так, например, для задач мониторинга окружающей среды ФГБУ «Северо-Западное УГМС», применяет базы данных для накопления гидрометеорологических и гидрохимических данных, временных рядов измеряемых величин (уровни, расходы, метеопараметры и т. п.), относимые к определённым створам, метеостанциям и другим пространственным точкам. Пример использования этих данных – расчет и оценка воздействия стоков предприятий на водную экосистему. Для задачи учета существующих приледниковых озер, группой авторов (Шахмина М.С. и др., 2007) разработана «База данных современных приледниковых озер центральной части Северного Кавказа». База данных применяется для систематического накопления гидрологической и морфометрической информации озер центральной части Северного Кавказа. Данные используются для оценки текущего состояния и анализа динамики изменений гидрологических и морфометрических параметров вышеуказанных озер. Актуальность разработки базы данных под управлением специальных программных средств, называемых системами управления базами данных (СУБД), определяется эффективностью их использования для решения различных практических задач, с одной стороны, и отображением динамически изменяющегося мира, и удовлетворением всех потребностей в информации у пользователей, с другой.

Целью настоящей работы является разработка СУБД по материалам экспедиционных исследований Института наук о Земле СПбГУ на озерно-

гляциальных комплексах антарктических оазисов и Алтая. Данная разработка позволит решить ряд проблем: систематизировать и структурировать большой и разрозненный массив информации, упростить трудоемкий поиск и извлечение данных. Новизна работы заключается в демонстрации применения СУБД в современных условиях.

В последней главе работы, представлен пример использования базы данных, для решения прикладной задачи: на основе данных, содержащихся в разработанной СУБД, предпринята попытка создания композитного индекса прорывоопасности антарктических озер, на примере озер оазиса Холмы Ларсеманн.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести обзор литературных источников, посвященных озерно-гляциальным комплексам, обзор современных гидрологических баз данных.
- 2) Выбрать программное обеспечение и разработать СУБД для хранения данных экспедиционных исследований и решения прикладных задач.
- 3) Выявить наиболее показательные параметры прорывоопасности озер Антарктических оазисов.
- 4) Провести оценку прорывоопасности антарктических озер на примере озер оазиса Холмы Ларсеманн, с помощью композитного индекса прорывоопасности.

В качестве рабочего названия было выбрано «База данных для полярных и горных озерно-гляциальных комплексов на примере Антарктиды и Алтай-Саянской горной системы» (Polar and Alpine oUburst lakes database: Lakes of Antarctic oases and Altai region: "PAULAS").

Работа состоит из введения, 3-х глав, заключения, списка литературы и приложений.

1. Современное состояние проблемы исследования

1.1. Обзор СУБД по гидрологии

СУБД разрабатывают с целью хранения, анализа и обеспечения легкого доступа к первичным данным и к результатам их обработки. В этой главе будут рассмотрены СУБД для гидрологии, полярных и горных регионов, прорывным озерам. Цель обзора – критический анализ современных баз данных, с последующим выявлением их достоинств и недостатков. Ориентируясь на достоинства описанных баз данных, будет разрабатываться собственная СУБД (далее по тексту база данных). Вместе с этим необходимо выявить наличие или отсутствие баз данных аналогичных по наполнению разрабатываемой (территория, объекты, специфика).

База данных «Pangaea» [89] предназначена для архивирования, публикации и распространения данных, полученных в результате научно-исследовательской деятельности в сфере наук о Земле. «Pangaea» является частью Всемирной системы данных (WDS). Всемирная система данных – это междисциплинарный орган, созданный 29-й Генеральной ассамблеей в Мапуту, Мозамбик, в 2008 году, глобальная цель WDS – равноправный доступ к научным данным и информации для всех стран, для их использования и внесения вклада в создание новых знаний, необходимых для установления своих собственных путей устойчивого развития. База данных «Pangaea» управляется командой редакторов, менеджеров проектов и IT-специалистов.

Присутствующая в этой базе информация — это первичные данные исследований, результаты их анализа и обобщения, объяснение новых научных фактов, выводы, рекомендации и предложения, где описание каждого набора данных всегда видно и включает главного исследователя, к которому может быть запрошен доступ. Каждый набор данных можно идентифицировать, публиковать и цитировать с помощью идентификатора цифрового объекта (DOI). «Pangaea» содержит данные исследований в сфере наук о Земле: гидрометеорология,

гляциология, геофизика и др. Достоинства базы данных «Pangaea» — широкий спектр информации по разным научным направлениям в рамках комплекса наук о Земле, что способствует мультидисциплинарному изучению объекта исследования, а также значительное количество наборов данных (более 400 тысяч), открытый доступ к данным. Главный недостаток заключается в поисковой системе. Поиск в базе осуществляется через поисковую строку, где поиск данных происходит всего по одному критерию: по типу измерения, имени автора, названию проекта или названию статьи, что ведет к увеличению трудоемкости процесса поиска конкретного вида данных. Таким образом, в разрабатываемой автором данной работы СУБД, будет реализован поиск по нескольким критериям, что позволит существенно упростить поиск необходимых данных.

База данных «Meteorology, Climatology, Hydrology» (MCH) [90] предназначена для обмена данными между национальными гидрологическими и метеорологическими службами (НГМС) и сбору информации, необходимой для комплексного анализа гидрологических, климатических и метеорологических данных.

MCH функционирует с 1996 г, разработана в рамках программы по модернизации рационального использования водных ресурсов для мексиканской национальной водохозяйственной комиссии, позже Мексика добавила в базу метеорологический элемент и адаптировала под более широкую аудиторию, затем в 2011 г, MCH была передана под управление ВМО (всемирная метеорологическая организация).

База содержит широкий ассортимент информации, от гидрометеорологических данных в табличном виде и графиков до синоптических карт (рис. 1).

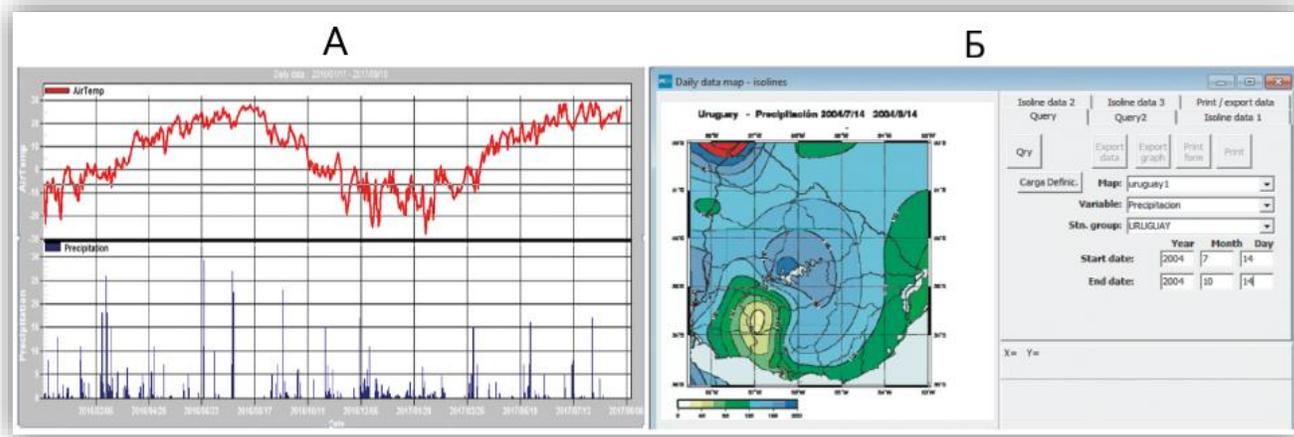


Рис. 1. Фрагмент базы данных МСН. А – сравнительный график для температуры воздуха и осадков для одной станции. Б – карта осадков с изогиетами.

В МСН собраны первичные данные измерений с метеостанций, гидрологических постов, радиозондов, и результат анализа этих данных.

База доступна только для НГМС, она используется для сбора данных со станций измерений с последующей оцифровкой записей в централизованных источниках данных (например, Excel, Access), и работы в оперативном режиме. Для присоединения к МСН, необходимо связаться с ВМО через своих постоянных представителей. Достоинства МСН заключается в наличии широкого диапазона графического материала, недостаток базы – недоступность информации для научных групп, студентов и преподавателей.

Интернет ресурс sawater-info.net [88] предоставляет базу данных по морфометрическим и батиметрическим характеристикам Аральского моря, рекам: Амударья, Сырдарья, Зеравшан, Карадарья, Чирчик, Сурхандарья, Кашка Дарья, равно как и данные по основным рекам и водным ресурсам Афганистана. Задача интернет-ресурса [88] состоит в формировании общей системы учета водных и земельных ресурсов бассейна Аральского моря, для анализа разных аспектов эффективности их применения и прогнозирования, что повлечет за

собой более эффективное управление, контроль и использование водных ресурсов региона.

Также база данных [88] характеризуется наличием научных статей, относящихся к ее тематике, это несомненно ценный источник дополнительной информации, который способствует всестороннему изучению объекта исследования. Недостаток базы - поиск информации осуществляется исключительно переходом по гиперссылкам, расположенным на сайте, что усложняет поиск и извлечение данных.

Гидрологические данные о крупных арктических реках мира – главные элементы базы данных ArcticGRO [87]. Это крупнейшие реки Арктики: Енисей, Лена, Обь, Колыма, Юкон, Маккензи и другие. В базе данных в табличном виде хранятся среднемесячные данные о гидрологических и физико-химических характеристиках вышеуказанных рек.

Цель разработчиков ArcticGRO заключается в предоставлении научному сообществу важных данных, о пространственно-временной динамике гидрохимических показателей рек Арктики, поскольку они оказывают влияние на биологический и химический состав прибрежных и океанических вод, за счет изменения стока и химического состава воды. Кроме вышесказанного, база данных содержит раздел с публикациями, где использовались данные ArcticGRO, на данный момент таких работ 187, что говорит о динамичном использовании предоставляемой базой информации. Отметим компактность базы, вся информация представлена двумя основными таблицами, с возможностью переключаться между объектами. Такой вид представления данных повышает эффективность их поиска и извлечения, из-за сокращения ручной работы и повышения степени централизации. (рис.2). Поиск информации по базе происходит при помощи панели инструментов и интерфейса «Google таблиц». Они обладают достаточной функциональностью, однако, не подходят для баз

данных с большим набором информации, из-за отсутствия возможности поиска по нескольким критериям одновременно.

Phase	River	Date	ID	Discharge	Temp	pH	Cond	Alk	A254	A375	A412	A420	A440	H2O-2H	H2O-18O	DOC	DOC-13C	DOC-14C	DOC-fm	TDN	NO3	NH4	TDP	PO4	S
		YYYY-MM-DD		m3/s	°C		µS/cm	mg CaCO3/L								mg C/L				mg N/L	µg N/L	µg P/L	µg P/L	mg P/L	mg P/L
PARTNERS	Kolyma	2003-08-26		2340	11.1	7.7		30.7						-165	-21.2	2.9	-27.5	-18.9		0.11	1	0	6		
PARTNERS	Kolyma	2004-06-11		19300	10.9	6.7		16.7						-185	-23.9	10.3	-27.3	86.8		0.30	39	0	15		
PARTNERS	Kolyma	2004-06-15		16300	11.8	7.4		18.4						-183	-23.7	9.1	-30.0	-3.9		0.23	31	53	14		
PARTNERS	Kolyma	2004-06-25		12600	12.3	7.2		14.7						-177	-22.8	6.4	-27.4	44.8		0.20	50	0	9		
PARTNERS	Kolyma	2004-07-15		8040	7.1	7.1		15.9						-169	-21.7	5.9	-27.4	55.4		0.20	45	34	9		
PARTNERS	Kolyma	2004-08-10		5970	12.4	7.9		22.8						-166	-21.3	3.9	-26.7	-5.1		0.16	42	9	7		
PARTNERS	Kolyma	2004-08-25		7290	12.6	7.5		23.0						-165	-21.2	4.4	-27.0	19.1		0.17	50	0	7		
PARTNERS	Kolyma	2004-09-23		6950	7.0	7.8		38.6						-164	-20.9	3.9	-27.3	8.5		0.15	32	11	7		
PARTNERS	Kolyma	2005-04-22		353	0.1	6.0		25.8						-171	-22.7	3.2	-27.2	20.4		0.18	140	0	4		
PARTNERS	Kolyma	2005-06-30		7510	14.5	7.4		22.0						-167	-21.9	5.7	-26.1	-12.7		0.25	31	11	5		
PARTNERS	Kolyma	2005-07-19		4890	13.2	7.7		27.1						-167	-21.7	4.4	-26.9	12.3		0.18	66	14	7		
PARTNERS	Kolyma	2005-08-14		6540	13.7	7.5		26.6						-164	-21.3	6.2	-27.3	49.9		0.17	31	8	7		
PARTNERS	Kolyma	2005-08-27		8680	12.8	7.7		42.1						-162	-21.1	8.1	-27.5	73.5		0.19	39	12	9		
PARTNERS	Kolyma	2005-09-12		5860	8.9	7.4		27.4						-162	-20.7	5.5	-27.3	40.5		0.21	48	0	11		
PARTNERS	Kolyma	2005-09-29		2940	4.1	7.5		27.8						-161	-20.6	6.6	-24.2	-14.6		0.21	36	0	8		
PARTNERS	Kolyma	2006-07-24		4890	12.1	6.9		23.2						-166	-21.4	8.7				0.16	141	0	7		

Рис. 2. Фрагмент базы ArcticGRO

Рассмотрим две базы данных СПбГУ [45,56]. В базе данных «Lena Delta Hydrogeochemistry» [56] содержатся параметры гидрологического и гидрогеохимического режима устьевой области реки Лена. Данные представляют из себя многолетние мониторинговые наблюдения в замыкающем створе реки Лены и на основных протоках дельты (Главном русле и Быковской протоке), а также результаты экспедиционных наблюдений в период открытой воды (с 2005 по 2014 гг.) на крупных и малых протоках дельты, талых водах с ледового комплекса.

Вышеописанная база данных может быть использована в научно-исследовательских работах по гидрогеохимии, геоэкологии, для анализа динамики химических свойств рек, озер и морей, вопросах изменения климата, в прикладных целях.

В базе данных «lake-suuri-ecosystem» [45] содержатся параметры химического и биологического состава и физических свойств, необходимые для:

использования в моделях водных экосистем, оценки влияния факторов среды на скорости массообмена в водной экосистеме, оценки экологических функций водоемов, интегральной количественной оценки экологического статуса и экологического благополучия оз. Суури.

Цель базы данных «lake-suuri-ecosystem» - использование информации о химических, биологических параметрах и физических свойствах оз. Суури в научных целях, для оценки экологической деятельности водоемов, для повышения качества мониторинга водных объектов, при многокритериальной оценке экологического статуса водоемов. Поиск информации в базах данных [45,56] происходит при помощи созданной поисковой системы. Потенциал создания поисковой системы, инструментами «MS Access», в базах [45,56], реализован лишь частично, в связи с этим отмечается недостаточная «гибкость» инструмента поиска данных, что приводит к усложнению поиска и извлечению данных. Принимая во внимание выше сказанное, разрабатываемая автором, база данных, будет обладать более «гибким» и функциональным «поиском».

Среди баз данных по горным регионам можно выделить базы по прорывоопасным ледниковым озерам, такими являются «База данных горных озер берегового хребта Кордильер и Патагонских Анд» [44] и «База данных по ледниковым озерам северной части Центрального Кавказа» [53]. В работе [44] используя технологию дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) методом дешифрирования выявлено местоположение 110 горных озер, расположенных в труднодоступном районе. В базе данных [44], в табличном виде представлены координаты местоположения объектов, морфометрические характеристики, в том числе глубины озер, рассчитанные тремя методами. Поиск информации осуществляется исключительно переходом по гиперссылкам, расположенным в HTML-файле, где содержится база данных, что усложняет поиск и извлечение информации, ввиду увеличения ручной работы.

Более долговременная и глубокая инвентаризация ледниковых озер была проведена на Кавказе, на участке от Эльбруса до Казбека, данные которой представлены в «База данных по ледниковым озерам северной части Центрального Кавказа» [53], кроме ранее упомянутой технологии ДЗЗ, в случае [53], часть объектов исследовалась в полевых условиях, что позволило создать схемы батиметрии и более детально изучить факторы, влияющие на прорывоопасность ледниковых озер, расположенных на участке от Эльбруса до Казбека. Всего «База данных по ледниковым озерам северной части Центрального Кавказа» содержит информацию по 71-му озеру, для 46-и из которых представлены батиметрические схемы). База данных реализована в геоинформационном пакете ArcView. В нее включены космические снимки (Landsat ETM+), топографические карты. Также имеется плакатный вариант, где каталог представлен в табличном виде (рис. 3).



Рис. 3. Плакатный вариант базы данных по ледниковым озерам северной части Центрального Кавказа.

Источник: Черноморец С.С. и др. 2009. Ледниковые озера на Кавказе: опасность прорывов и опыт прогнозов. Стр. 3.

Достоинство баз данных [44] и [53], заключается в предоставлении уникальных данных, о горных прорывоопасных озерах Патагонских Анд и участка Кавказа от Эльбруса до Казбека, уникальность и ценность которых обусловлена сложностями получения информации об объектах, расположенных в труднодоступных районах мира, какими являются вышеуказанные регионы. Так, например, экспедиционные и полевые исследований горных озер, характеризуются существенными материальными затратами и высокими физическими нагрузками для исследователей. Не в меньшей мере экспедиционные и полевые исследования в труднодоступных районах мира связаны с опасностью для жизни человека, ввиду возможных катастрофических событий (оползни, селевые потоки, прорывы озер) и отсутствии системы логистики, предоставляющей возможность оказать медицинскую помощь, в случае получения исследователем травм. В этом случае релевантными становятся исследования с помощью ДЗЗ, однако, качество полученной информации при таком подходе, с учетом самых современных технологий, будет ниже, чем при полевых исследованиях территории или объекта изучения. Тем не менее, информация об озерах, полученная при помощи ДЗЗ, может выступать в качестве первичных и ознакомительных данных об объектах исследования. Полученные с помощью ДЗЗ данные, о пространственном расположении озер и предполагаемых протекающих процессах на озерах, поспособствует составлению наиболее безопасного, продуманного и эффективного, с точки зрения логистики, маршрута для полевого исследования.

Создание баз данных в настоящее время является неотъемлемой частью любых научных исследований, где приходится работать с большими массивами данных, их хранением, анализом и обработкой. Актуальность применения баз данных подтверждается более чем четырьмя десятилетиями активного и повсеместного их использования, в том числе в сфере гидрологии.

Ознакомительное использование и обзор выше описанных баз данных позволил выявить их достоинства и недостатки:

- Использование специализированных программных обеспечений (ПО) для создания баз данных, позволяет с помощью встроенных в ПО инструментов, создать индивидуальную поисковую систему информации, подходящую под конкретные задачи базы данных. В свою очередь, базы данных, расположенные на интернет-ресурсах (напр. Pangaea.de, cawater-info.net), в основном обладают малофункциональной поисковой системой: запрос данных осуществляется по одному критерию или по гиперссылкам.
- Широкий спектр научных направлений, (например, представленных в Pangaea) позволяет проводить мультидисциплинарное исследование объекта, что при изучении, таких сложных природных систем как ОГК, является обязательным условием. Например, для исследования гидрологического режима ледниковых озер необходимы данные о гидрологических, метеорологических и геофизических характеристиках ОГК. При этом, гидрометеорологические данные выступают в роли основных данных, используемых для оценки гидрологического режима ледниковых озер, геофизические данные – в роли инструмента оценки мощности ледника, из которого происходит питание озер.
- Свободный (не коммерческий) доступ к базе данных (напр. Pangaea, ArcticGRO), доступ к базе по запросу к правообладателю (напр. «lake-suuri-ecosystem») или частично коммерческий доступ к информации (напр. cawater-info.net) являются предпочтительными для студентов, преподавателей, исследователей и научных групп, в отличие от полностью закрытых баз данных (МСН), где

пользователями информации являются исключительно правообладатели.

- Наличие графического материала позволяет наиболее развернуто представить и глубже изучить объект исследования. Карты, схемы и графики представляя из себя сжатую, обобщенную, структурированную и более наглядную информацию (напр. батиметрическая схема), позволяют эффективнее проводить анализ данных.
- Наличие в базе данных научных трудов, относящихся к тематике базы (напр. Sawater-info.net, Pangaean, ArcticGRO) дает возможность оценить существующее состояние проблемы исследования, повысить личный уровень осведомленности в данном вопросе.

При создании базы данных в настоящей работе, было решено использовать специализированное ПО, создать поисковую систему информации с возможностью многокритериального запроса, включить данные способствующие мультидисциплинарному изучению ОГК (геофизические, метеорологические), обеспечить базу данных различным графическим материалом, добавить научные труды по теме исследования, обеспечить максимальную доступность (разместить на сервере или облачном хранилище) и открытость данных базы для научного сообщества.

1.2. Озерно-гляциальные комплексы

Для понимания специфики и возможностей использования будущей базы данных, был проведен обзор озерно-гляциальных комплексов (ОГК), по которым имелись данные экспедиционных исследований, которые легли в основу разработки базы данных. Кроме того, для оценки процессов, протекающих в сложных природных системах, зачастую используются интегральные и композитные индексы, показатели и многокритериальные классификации [20, 60,

70], обзор позволил выявить уникальные для ОГК процессы, для которых будет создаваться композитный индекс оценивания параметра. Обзор выполнен для ОГК антарктического оазиса Холмы Ларсеманн, а также ОГК горных массивов Цамбагарав в Монголии и Монгун-Тайга, расположенных на Алтае, данные о характеристиках которых вошли в создаваемую СУБД.

Озерно-гляциальные комплексы представляют собой озера, расположенные вблизи, вплотную ледника или непосредственно на леднике или снежнике и получающие питание из гляциального образования и как правило, приурочены к горным массивам и антарктическим оазисам.

Выбранные ОГК характеризуются значительной динамикой и активностью гидрогляциологических процессов, связанных с изменением климата, поэтому их всестороннее изучение, является актуальной задачей для научного сообщества.

В настоящее время интерес к озерно-гляциальным комплексам не перестает расти как со стороны научного сообщества, так и со стороны различных государственных структур.

Научный интерес к ОГК заключается в получении уникальных научных материалов, позволяющих отследить динамику природных объектов ОГК, что, в свою очередь, способствует пониманию глобальных климатических процессов, и изучить закономерности эволюции и режима гляциальных и гидрологических процессов [12,25,27]. Интерес к ОГК со стороны государственных структур исходит из гуманитарных и экономических соображений, поскольку ОГК зачастую представляют опасность для населения, инфраструктуры и сельскохозяйственной деятельности, расположенных в непосредственной близости к территории ОГК. Опасность заключается в возможном прорыве озер, приводящему к катастрофическим последствиям [9,12,67].

Всестороннее изучение ОГК начинается с определения механизмов формирования и причин эволюции.

Механизмы, формирующие ОГК горных массивов, обусловлены, с одной стороны температурной стратификацией атмосферы и наличием котловин различного происхождения, с другой. Холодный воздух на высоте приводит к образования горных ледников. Так, горный ледник, по мере продвижения вниз под действием силы тяжести, подвергается воздействию положительных температур, расплавленный лед, стекая в виде воды, заполняет на своем пути углубления. Механизм формирования антарктических ОГК имеет ряд отличий (напр. отсутствие влияния температурной стратификации) и обусловлен уникальным сочетанием рельефа и климата, и долгое время был не установлен. Так, причина возникновения и эволюции антарктических ОГК оставалась неустановленной с начала XX века до середины 60-х годов.

Начиная с работы [61], широко известна так называемая орографическая гипотеза формирования антарктических ОГК: горы, расположенные на пути стекающего из центральной части Антарктиды ледника, отклоняют сток льда в стороны. На участке, который обтекает ледник, устанавливается отрицательный баланс ледникового вещества, таким образом происходит постепенное очищение суши от льда.

Затем, исследователи 1-ой Советской комплексной антарктической экспедиции, обследовав оазис Бангера в 1956-1958 гг., подтвердили ранее изложенное мнение в [61]. Вместе с этим привнесли в данную концепцию фактор ветрового воздействия на многочисленные участки подстилающей поверхности оазиса [1]. Эти участки обнажаются под действием ветров, что приводит к изменению теплового режима поверхности, в итоге абляция начинает преобладать над накоплением льда [1]. Впоследствии, советский ученый Пальгов Н.Н., ознакомившись с работой [1], подчеркнул: авторы привели убедительные аргументы, опровергающие высказывания о наличии подземного тепла и некоторые другие гипотезы, касательные происхождения оазисов. Таким образом, Пальгов Н.Н. свел все факторы образования оазисов к одному –

отрицательный баланс ледникового вещества в годовом цикле жизнедеятельности ледника [38].

В это же время, появилась климатическая гипотеза [17], в которой формирование оазисов главным образом связано с потеплением климата. Между сторонниками орографической и климатической гипотезами началась дискуссия, в результате которой, объединились вышеуказанные «антагонистические» концепции формирования оазисов в Антарктиде. Появилось новое представление о принципах и условиях формирования антарктических оазисов [26,28,36,50,63,86]. Объединенная орографическая и климатическая гипотеза заключается в следующем: по мере потепления климата на земном шаре, участки, куда сток льда затруднен рельефом, а абляция превышает аккумуляцию, начинают постепенно освобождаться от льда, при этом начинает действовать «оазисный эффект» - поверхность нагреваясь солнечной радиацией выступает в роли дополнительного источника разрушения ледяного покрова. Вследствие этого общий баланс льда становится отрицательным, и ледники в долине, постепенно сокращаясь в размерах, могут исчезнуть полностью, сформировав при этом ОГК из отчистившейся от льда суши и ближайшей к нему периферии ледника.

Сегодня, объединенная орографическая и климатическая концепция формирования ОГК в Антарктиде, принята большей частью научного сообщества, однако, до сих пор некоторые аспекты остаются предметом дискуссий и изучения [49].

Имеется ряд исследований антарктических и горных ОГК. Так, последние 30 лет интерес научного сообщества вызывают ОГК кавказской горной страны. Исследователи при изучении ОГК Кавказа применяют широкий спектр методов изучения, используют современные технологии (ДЗЗ, беспилотные летательные аппараты), отслеживают динамику ОГК и создают базы данных гляциальных и водных объектов. Внимание к ОГК Кавказских гор обусловлено, участвовавшими

за последние десятилетия, опасными гидрологическими и гляциологическими явлениями: сели, прорывы приледниковых озер, обрушения и подвижки ледников [21]. Триггером являются абляция и отступление ледников, как следствие климатических изменений.

В работах [22-24] Зимницкий А.В. ставил и выполнил следующие задачи: мониторинг, картографирование, анализ и генерализация материалов по приледниковым озерам района исследования [25], вместе с этим автор изучил механизмы прорыва горных приледниковых озер. Результатами исследований стало вычленение главных факторов и механизмов формирования озерных котловин, разработана новая методика картографирования приледниковых озер, установлены закономерности формирования и развития морфолитогенеза для приледниковых озер, проведена инвентаризация некоторых озер долины Баксана, популярной у туристов.

Также результаты инвентаризации горных озер на участке между Эльбрусом и Казбеком представил Черноморец С.С. в работе [54]. Черноморцем С.С. описан и проанализирован прорыв озера Башкара [55], это один из последних крупных случаев прорыва горного озера.

Группой ученых в работе [71] описан процесс быстрого восстановления ледника Колка, после известной катастрофы 2002 года.

Из вышеописанного можно заключить, что гляциальные и водные объекты, формирующие ОГК, изучается многосторонне и детально, это доказывает интерес, актуальность и важность изучения ОГК научным сообществом. Также отмечается интерес исследователей к прорывным озерам.

Ряд исследований проведен в Антарктическом ОГК оазис Бангера [46,47,48], расположенном на восточном побережье Антарктиды, площадь ОГК равно примерно 425 км².

Формируют ОГК оазис Бангера 4 ледника: Эдисто, Апфела, Скотта, Обручева и более 40 озер. Крупнейшими озерами комплекса являются:

Фигурное, Белых Дымов, Полянского, Долгое, и Далекое. Максимальной площадью зеркала и глубиной обладает озеро Фигурное 14135 м² и 141 м соответственно [36]. Кроме того, по различным оценкам от 0,7 до 2,7 % территории оазиса покрыто снежниками.

Исследование ОГК оазис Бангера началось в 1956 г, когда в рамках Советской антарктической экспедиции была построена база «Оазис», однако, наиболее широкий и глубокий пласт гидрологических и гляциологических данных был изучен в последние два десятилетия XX века, в рамках 32-37 САЭ [33-37]. Была подтверждена гипотеза, что озера Полянского и Белых Дымов являются эпিশельфовыми, установлены действующие прорывные (оз. Далекое, оз. Фигурное) и потенциально прорывные озера, сформировано представление эволюции ледников и снежников оазиса, зафиксировано преобладание абляции ледников над аккумуляцией льда.

Динамика ОГК оазиса Бангера интересна с точки зрения индикатора изменений климата, с его открытия в 1947 г. по настоящее время ледники, снежники и озера претерпели значительные изменения, так, например, на леднике Апфела не найдено ни одной вехи, выставленной в 1991 г., на гляциологическом полигоне [61]. Вероятнее всего вехи вытаяли, также как вытаивали вехи полигонов, устанавливаемых на этом леднике с 1987 г. В настоящее время ледяная дамба из мертвого льда, отделенная от выводного ледника Апфела зоной закрытых трещин, сокращается в размерах. С 1956 г. до настоящего времени надводный край ледника отступил по фронту на юг, на расстояние от 30 до 139 м.

Обмеры озер и сравнение их планов с фотопланом 1956 г. показали, что отступают края и других ледников. Так, в озере Грейс, надводная северная кромка континентального ледникового покрова, ограничивающая озеро Гриф, отступила на юг на 80-90 м, за 35-ти летний период.

Ледяная стена, ограничивающая с севера озеро Дэйла, также отступила, но на север на 70 м за этот же период времени. Таким образом, имеются признаки явного отступления ледников и расширения границ оазиса. Причем, зафиксировано сокращение площади ледников разных типов: мелких навешных и ледникового материкового покрова.

Изучение ОГК антарктических оазисов, кроме понимания закономерностей процессов и эволюции гляциальных и водных объектов Антарктиды, важно для разведки полезных ископаемых материка. Так при потенциальной добыче ресурсов, знание их расположения, эволюции и характера динамики ОГК имеет первостепенную важность.

1.2.1. Холмы Ларсеманна

Открытый Ларсом Кристенсенем в 1935 г., свободный от льда, участок суши на Земле Принцессы Елизаветы (восточная Антарктида, рис. 4), активно осваиваться начал лишь в середине 1980-х годов [3]. В настоящее время в этом районе расположены зимовочные станции 3 государств: Индии (ст. Бхарати), Китая (ст. Зонгшан) и России (ст. Прогресс), вместе с этим в оазисе располагается несколько полевых баз.

Район Холмов Ларсеманна имеет площадь около 50 км² и состоит из двух крупных и множества мелких островов. Ландшафт оправдывает название территории и является цепью холмов, высотой до 162 м (абс. высота). Рельеф значительно расчленен. Множество мелких (до 5 м) водоемов являются следствием заполнения водой депрессий рельефа. Насчитывается около 150 малых и 9 крупных озер, наиболее глубокие: оз. Прогресс и оз. Скандретт, 45 и 18 м соответственно [71]. В длительный зимний период поверхность озер покрыта льдом, вскрываются озера лишь на недолгий теплый период (декабрь-февраль). Водные объекты образуют развитую гидрографическую сеть.

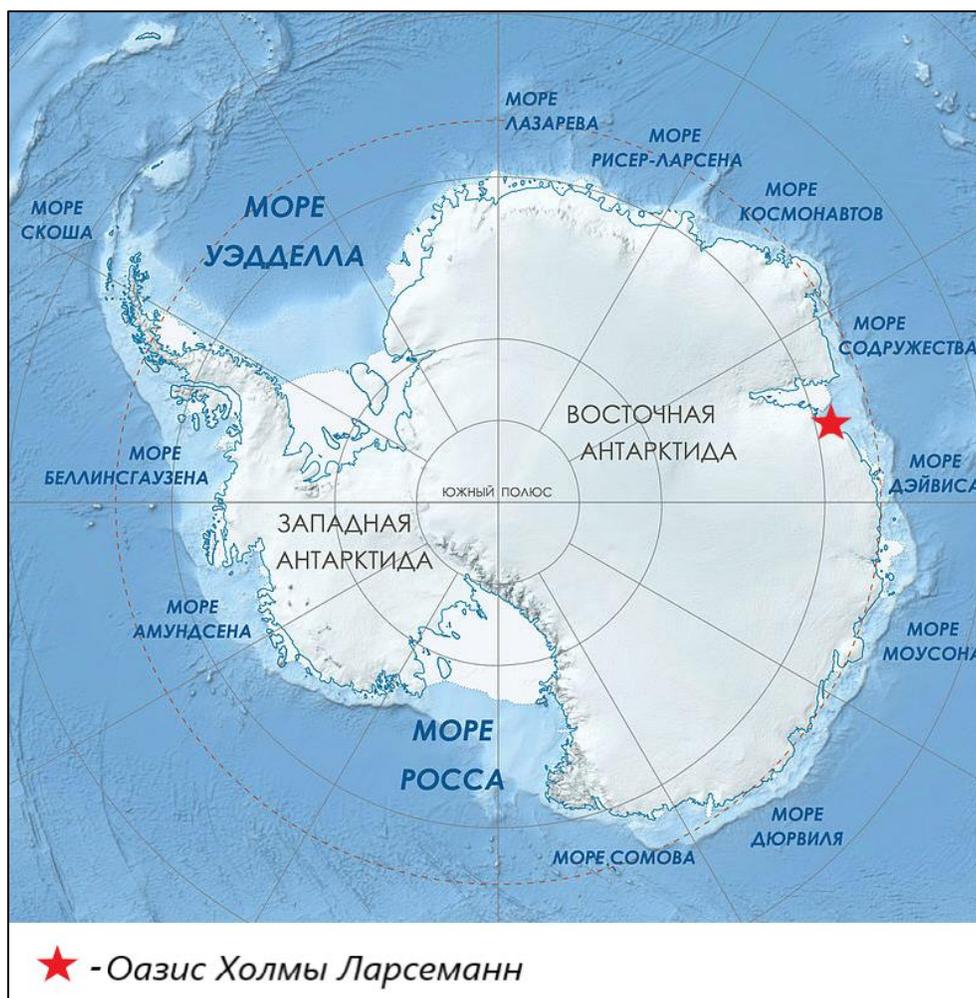


Рис. 4. Положение оазиса Холмы Ларсеманн на антарктическом континенте
 Источник: карта Антарктики. 1974. Дубровин Л. и др. «О чём говорит карта Антарктики»

Для ОГК оазис Холмы Ларсеманн типичны прорывные паводки из ледниковых и подледниковых озер. Почти ежегодно, на озерах Скандретт, Рейд, Прогресс, Дискашн и ЛН-43, регистрируются прорывные паводки. Триггером прорыва является накопление критического объема воды, после чего, под действием силы механического давления, ледяные стенки разрушаются. Последнее провоцирует резкий сброс водной массы через каналы стока, формирующиеся в наиболее ослабленных зонах [5]. Тема прорывных паводков озер актуальна, ввиду угрозы повреждения инфраструктуры РАЭ, расположенной на территории ОГК. Так, в январе 2017 г., в результате подледникового паводка из оз. Болдер, на дороге от ст.

Прогресс до аэродрома образовался провал на дороге [18]. В работе [18] описан процесс формирования подледникового паводка, упор делался на комплексный подход при изучении процесса. В статье предоставлены данные визуального дешифрирования, георадарного профилирования, анализа фотоматериала и тахеометрической съемки территории, где формировался и проходил паводок. Изучение данного подледникового паводка помогает понять процесс формирования и протекания катастрофических подледниковых паводков, и важен для вопросов фундаментальных научных исследований в полярных областях нашей планеты. В работе [40] приводятся последствия прорыва озера Болдер в 2017 году и некоторые обобщения касательно водно-гляциальных катастроф.

Гидрологические исследования прорывоопасных озер проводившиеся в 2017-2019 гг. отражены в работах [6, 41]. В них представлены особенности гидрологического режима, характеристики гидрографов прорывных паводков. Также предпринята попытка математического моделирования расчетного гидрографа.

На примере холодных мономиктических озер оазиса (Нелла, Скандретт, Прогресс и др.) дана оценка водного баланса, основанная на приходной и расходной части [83]. По результатам исследования авторы пришли к заключению, что для более точной оценки водного баланса необходимо сделать упор на унификацию гидрологических измерений при мониторинге ручьев и озер в теплое время года, это приведет к пониманию значимости конкретных частей уравнения водного баланса, природы и динамики водного обмена в антарктических озерах.

В заключении отметим, что исследования оценки водного баланса, не менее важны, чем изучение факторов и механизмов, обуславливающих прорывы подледниковых и ледниковых озер, и даже наоборот, являются неотъемлемой частью общего процесса жизнедеятельности озер, поскольку

именно водный баланс исчерпывающе описывает развитие водного объекта.

1.2.2. Монгун-Тайга

Массив Монгун-Тайга находится на пересечении горных систем Саян, Монгольского и Русского Алтая, максимальная высота 3970,5 м. Район характеризуется наличием снежников и ледников, различной морфологической формы, и озер. За счет благоприятного для формирования ОГК климата, обусловленного высотной поясностью. Горный массив Монгун-Тайга интересен с точки зрения изучения зависимости динамики изменений гляциальных и водных объектов от температурных изменений.

Началу изучения положили аэрофотоснимки, сделанные при залете 10 июля 1966 года на территорию горного массива Монгун-Тайга. Продешифровав снимки Д.А. Ганюшкин сравнил их с фотоснимками горного массива Монгун-Тайга периода 2007-2008 гг. Анализ снимков горного массива Монгун-Тайга, показал, что за чуть более чем 50 лет, площадь снежников сократилась в 15 раз [14]. Если взять во внимание, что в период с 1966 по 2008 год часть снежников возникла на месте деградировавших ледников, то выйдет, что реально с 1966 года площадь снежников уменьшилась в 33 раза. Площадь ледников сократилась лишь на 30% [14]. Фирновая граница в период 1966-2008 гг. поднялась в среднем на 250 м.

Аналогичные исследования проводились в период 2008-2011 гг., был описан процесс эволюции ОГК, появились некоторые новые результаты на основе полевых исследований, проходивших в регионе с 80-х годов. Зафиксированы остановка деградации ледников и снежников, и даже небольшой положительный баланс ледяного и снежного материала в регионе исследования [57]. Однако, учитывая стремительную деградацию ледника в прошлом, это вызвало ряд вопросов. Исследователи связали рост гляциальных образований с временными погодными изменениями, например, положительной аномальной снежностью, относительно многолетних

показателей. Согласно [57], такие колебания случались и раньше. В случае изучения ОГК, выводы о эволюции и динамике гляциальных объектов следует делать исключительно по многолетним данным.

В работе [42], коллектив авторов сделал упор на исследование озер на территории Монгун-Тайги. В работе излагаются данные о гидрологических и морфометрических характеристиках четырех прорывоопасных моренных озерах. Вместе с этим спрогнозированы ситуации и дана оценка риска их прорыва.

Научный интерес в изучении ОГК горный массив Монгун-Тайга подкреплен практической выгодой, знания, получаемые в ходе исследований необходимы для более ясного понимания формирования и жизнедеятельности прорывоопасных озер, на которые в свою очередь влияет динамика ледников и снежников [58]. Практическая выгода исследования ОГК Монгун-Тайга заключается в возможности отлаживать прогностические модели прорывоопасных и потенциально прорывоопасных озер.

1.2.3. Цамбагарав

Хребет Цамбагарав расположен в северо-западной части Монголии, ориентирован с северо-запада на юго-восток. Протяженность его составляет примерно 40 км. Максимальная высота хребта Цамбагарав – вершина Цаст (4193 м). Район характеризуется множественными гляциальными образованиями, равно как и многочисленными озерами [15].

До работ [15,30-32] гляциальные и водные образования Хребта Цамбагарав изучались по топографическим картам, аэрофотоснимкам и спутниковым данным [13,62,68,69,75,76,77]. Значимость дистанционных данных неоспорима, однако, имеет ряд недостатков, например, расхождение в результатах интерпретации площади ледниковых и снежных образований, у разных авторов. Несмотря на это, в вышеуказанных работах прослеживается тренд на

уменьшение ледникового и снежного материала в настоящий период потепления [32].

Так, в работе [15] анализ спутниковых снимков территории за период 1968-2015 гг. показал сокращение площади оледенения хребта на 14,28 км². Кроме того, отмечается рост скорости деградации гляциальных объектов, при этом отмечается разная скорость отступления ледников на хребте Цамбагарав, в зависимости от экспозиции склона. Составлена таблица изменения морфологической структуры оледенения за период с максимума малого ледникового периода (примерно 1600 г.) по 2015 г. Информация о закономерностях пространственного распределения ледников на территории Хребта Цамбагарав представлена в работе [32]. На основе данных полевых исследований в работе [15] представлены каталоги и карты современных ледников горного хребта Цамбагарав.

В работе [31] в качестве материалов исследования кроме топокарт, космических снимков и цифровых моделей рельефа использовались данные полевых работ 2003, 2008, 2009 г. В [31] представлены данные о морфометрических характеристиках и типах 40 основных ледников, расположенных на хребте Цамбагарав, а также их экспозициях. Построены карты режимов ледников. Согласно [31], в случае сохранения настоящей динамики деградации гляциальных объектов и климатических трендов, прогнозируется полная деградация ледников хребта Цамбагарав к 2100-му году.

В статье [4] Бородавко П.С. приводит данные о заозеренности районов региона, полученные путем обработки топокарт, спутниковых снимков, аэрофотоснимков. Также рассчитаны соотношения площадей озер и районов. В случае прослеживания какой-либо закономерности в расположении озер, производилась группировка районов по заозеренности. Также в работе описаны механизмы формирования различных озер горного генезиса (моренные, приледниковые, каровые и др.).

В работе [2] представлена информация о моренно-подпрудном озере Нурганы-Нур, питающемся от ледника №7 [15]. Представлены результаты геоморфологических наблюдений 2019 г., в ходе которых было выявлено уменьшение моренной перемычки (особенно за последние 2-3 года) разделяющую озеро и сухую долину. В ходе полевых работ произведена батиметрическая съемка озера, что позволило максимально точно определить накопившийся в котловине объем воды – 513620 м³. Термокарстовые процессы перемычки оз. Нурганы-Нур характеризуются как весьма активные: ввиду наличия погребенных в грунт льдов. В заключении [2] отмечается изменение стока озера и подъем уровня воды за последние десятилетия, что, по-видимому, ускоряет процессы разрушения моренной плотины.

Хребет Цамбагарав остается малоизученным, в свою очередь активные процессы деградации ледников несут опасность для населения и инфраструктуры за счет риска прорыва озер, расположенных на месте отступления ледников. Требуется дальнейшее детальное изучение территории, с целью выявления прорывоопасных озер. Так, например, в расположенной ниже озера Нурганы-Нур долине, располагаются пастбища для выпаса скота и юрты, прорыв этого объекта может повлечь за собой катастрофические последствия.

Автор настоящей работы рекомендует систематический мониторинг, а также накопление информации о прорывоопасных озерах в базе данных, с целью дальнейшего анализа на предмет прорывоопасности.

Обзор ОГК позволил выявить параметр оценивания для композитного индекса - прорывоопасность озер.

Ледниковые озера бывают подпружены ледяными, снежными и моренными плотинами. Неустойчивость таких плотин создает угрозу населению и инфраструктуре расположенного на пути потенциального прорывного паводка. Поэтому параметр прорывоопасности озера является актуальным для оценивания. При этом важно учесть отличия ОГК антарктических оазисов и ОГК,

расположенных в горных системах. Разные климатические условия вышеуказанных ОГК обуславливают необходимость уникальных методик оценки прорывоопасности озер для каждого типа ОГК. Поскольку на данный момент существуют работы, посвящённые оценке прорывоопасности озер горных ОГК [39,53], а для антарктических ОГК аналогичные работы отсутствуют, решено произвести оценку прорывоопасности озер Антарктиды на примере озер оазиса Холмы Ларсеманн.

Для создания композитного индекса из материалов экспедиционных исследований ИНоЗ СПбГУ на ОГК антарктических оазисов было решено отобрать необходимые для оценки прорывоопасности данные измерений (гидрологические, метеорологические) и графические материалы (карты, схемы, фотоматериал). Подробнее о разработке композитного индекса прорывоопасности написано в Главе 3 данной работы.

2. Материалы и методы

2.1. Проектирование и создание СУБД MS Access

Материалами исследования являются данные гидрологических, метеорологических и геофизических измерений, полученных в ходе экспедиционных исследований водных и гляциальных объектов на территории оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида) в 2018-2020 гг., горные массивы Монгун-Тайга (2019 г.) и Цамбагарав (2019 г.). Объектами исследования являются озерно-гляциальные комплексы рассматриваемых территорий.

База данных создавалась с помощью специального программного обеспечения – «MS Access 2016», отвечающего всем требованиям для создания многофункциональной, удобной и современной базы данных.

База данных разрабатывалась в 5 этапов:

1. Заполнение базы имеющимися данными,
2. создание схемы данных,
3. разработка инструментов управления (поисковая система),
4. построение модуля добавления новых данных,
5. визуальное оформление (интерфейс).

На первом этапе создавалась и заполнялась данными измерений и наблюдений таблица в MS Excel. Затем, данная таблица с помощью встроенной функцией «импорт электронной таблицы Excel» была перемещена в базу данных. Это основная таблица базы данных, содержащая все измеренные в ходе экспедиционных исследований величины. Таблица состоит из 50 столбцов и 10130 строк, в базе данных находится под названием «данные измерений». Для графических материалов создавалась отдельная таблица – «графические материалы», содержащая гиперссылки на файлы: рисунков, графиков, схем, георадарных временных срезов. Также были созданы таблицы, содержащие

данные о виде работ, объектах исследования, их локации (местоположение в регионе) и регионе, необходимые для построения многокритериального запроса.

Для возможности создания «гибкой» поисковой системы, занесенные в базу данных данные измерений и наблюдений, структурировались по виду работ. Данные, полученные в ходе экспедиций, представлены двумя форматами – текстовым и графическим. Текстовые данные, полученные в результате измерений, оформлены в табличном виде и представлены информацией, полученной в ходе следующих работ:

- батиметрическая съемка;
- уровенные наблюдения;
- наблюдения за ледовыми явлениями;
- измерения температуры воды;
- тахеометрическая съемка;
- гидрохимические наблюдения;
- наблюдения за стоком воды;
- метеорологические наблюдения.

Графические материалы представлены картами, схемами, графиками, фотографиями территорий работ и объектов исследования. Графические материалы явились результатом следующих работ:

- картографические работы;
- батиметрическая съемка;
- геофизические работы;
- камеральные работы;
- фотографии объектов исследования.

Объектами работы второго этапа выступали таблицы и связи. Процесс создания схемы данных заключался в построении логической структуры связей между таблицами [52,78]. Логическая схема базы данных демонстрирует

логические ограничения, которые распространяются на хранимые в таблицах данных и отражают условия целостности.

Схема данных состоит из 5 таблиц, соединенных типом связи «один ко многим» (рис. 5). В типе связей «один ко многим» одной записи первой таблицы соответствует несколько записей в другой таблице.

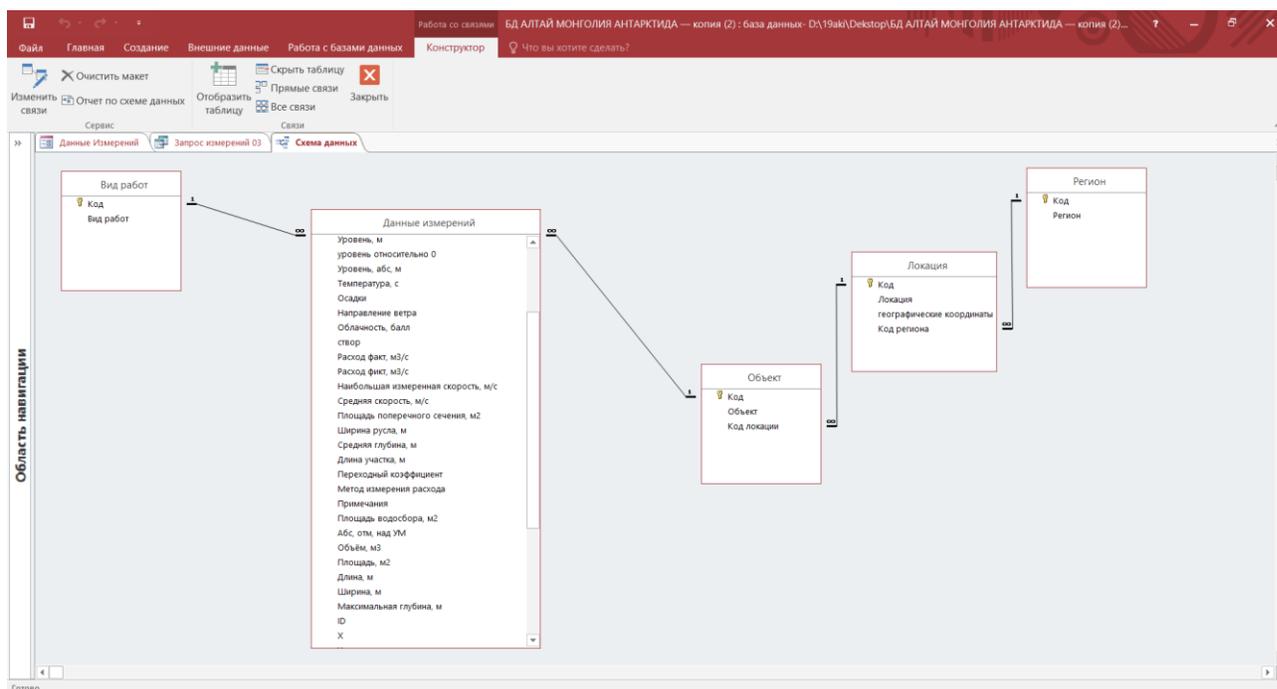


Рис. 5. Схема данных СУБД “PAULAS”

Следующий этап заключался в создании поисковой системы с возможностью многокритериального запроса в базе данных. При анализе возможных способов реализации поисковой системы учитывалось удобство поиска данных и извлечения информации. После тестирования нескольких вариантов поисковой системы был выявлен наиболее рациональный подход для осуществления поиска, основанный на следующих критериях запроса:

1. регион;
2. локация;
3. объект;
4. вид работ;

5. год;

Выбор подхода обусловлен связью каждой ячейки с информацией с определенным местом (регион, локация, объект), видом работ и временной привязкой (год), поэтому для нахождения определенной группы данных необходимо задать соответствующие критерии поиска.

Для работы поисковой системы в модуле MS Access «Visual Basic» был написан программный код на языке программирования «Visual Basic for Application» (прил. 1). Визуальное оформление поисковой системы создано при помощи «подчиненной формы» (форма – это интерфейс для отображения элементов базы данных), 5-ти элементов управления, представляющих собой «поле со списком» и 4-х кнопок навигации (рис.6). Каждое «поле со списком» построено на основе одной из 5-ти связанных между собой таблиц. «Поле со списком» представляет из себя выпадающий список, из которого выбирается нужный критерий, например, при нажатии на «объект», отобразятся названия объектов присутствующих в базе. После выбора всех или нескольких критериев из выпадающего списка (элемент управления – «поле со списком») при нажатии кнопки «запрос!» реализуется поиск информации по базе данных. Информация, соответствующая заданным критериям, отобразится в табличном виде (рис. 7). Также система поиска позволяет производить запрос по местоположению (рис. 8). Для этого название объекта вводится в окно «место*:». Выпадающее окно позволяет также отсортировать данные по виду работ. Далее, при нажатии кнопки «Запрос!» информация отобразится в табличном виде, представленном на рис. 9.

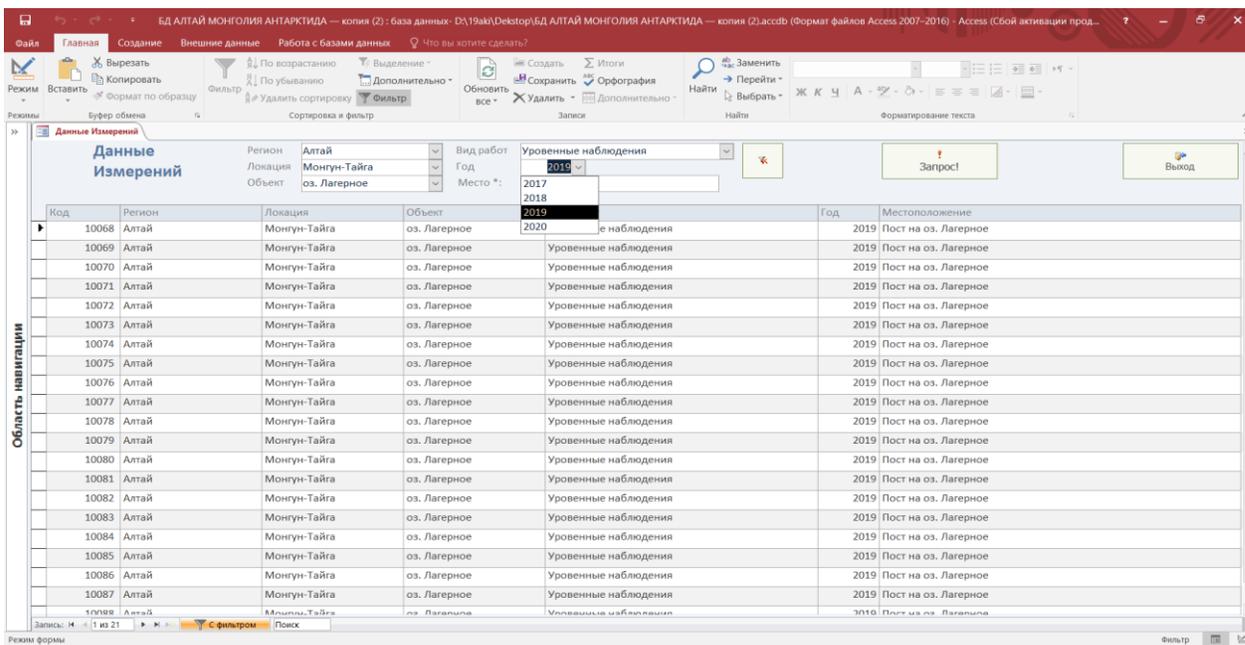


Рис. 6. Пример формирования запроса гидрологических данных по региону исследования в СУБД “PAULAS”

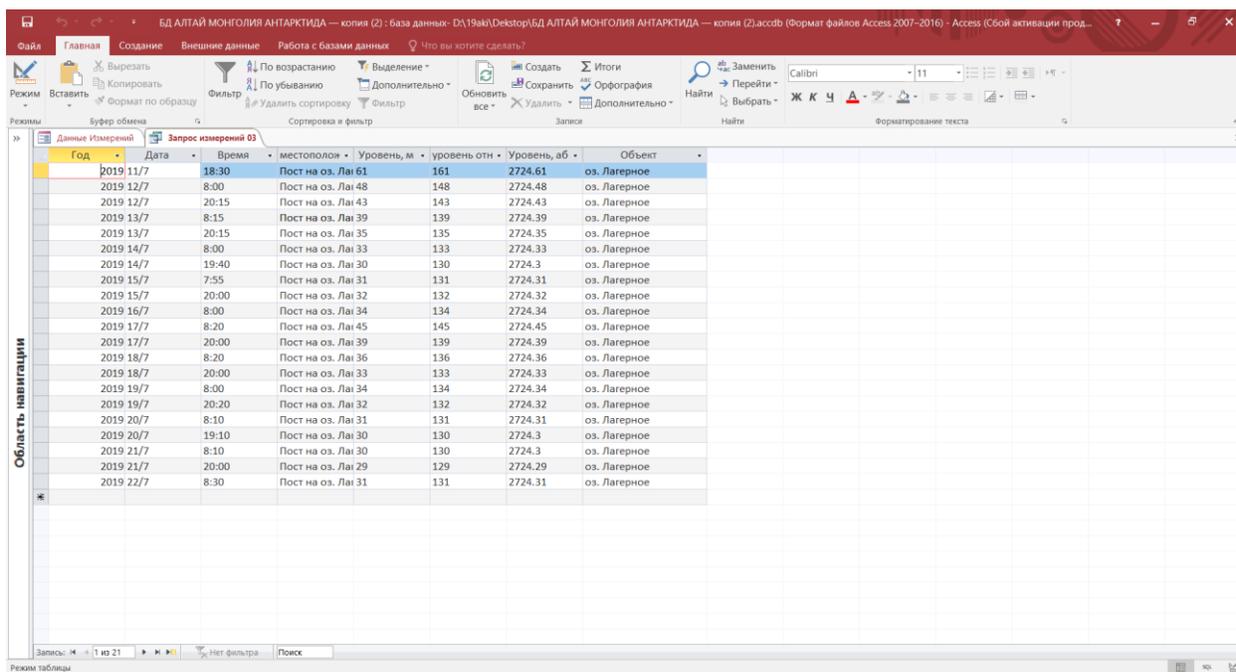


Рис. 7. Результат запроса гидрологических данных по региону исследования в СУБД “PAULAS”

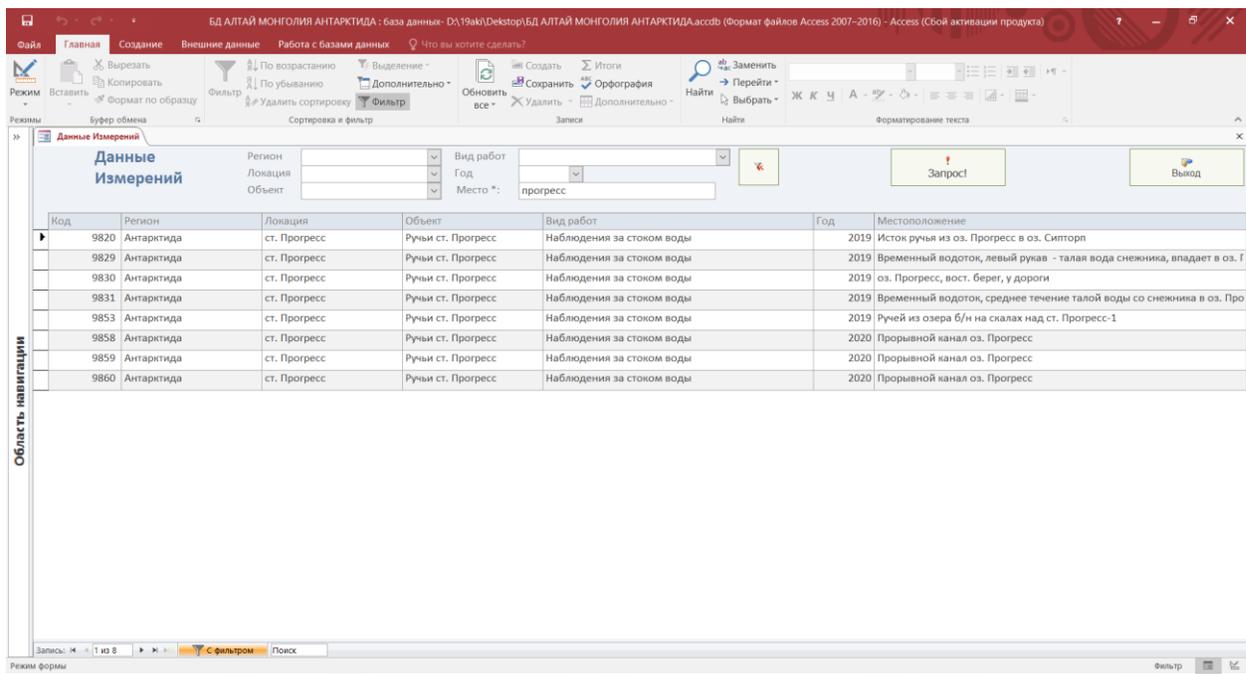


Рис. 8. Пример формирования запроса гидрологических данных по местоположению исследования в СУБД “PAULAS”

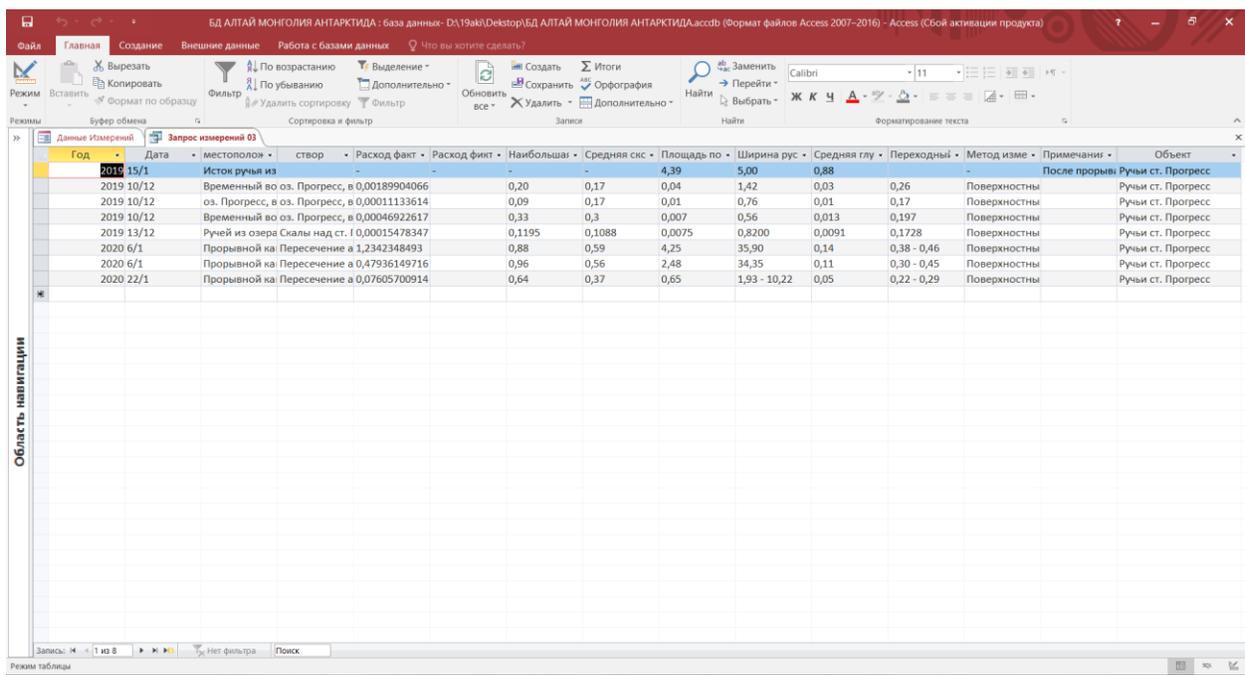


Рис. 9. Результат запроса гидрологических данных по региону исследования в СУБД “PAULAS”

Для разработки модуля добавления новых данных создавалась «разделенная форма», основанная на таблице «данные измерений». «Разделенная

форма» – это вид инструмента для ввода новых данных. Строки и столбцы в «разделенной форме» повторяют строки и столбцы в таблице «данные измерений». При вводе данных в строки «разделенной формы» внесенная информация дублируется в таблицу «данные измерений». Модули введения новых данных сгруппированы по виду работ (рис. 10). После выбора нужного модуля открывается форма для введения новых данных (рис. 11).



Рис. 10. Пример отображения модулей введения новых данных

A data entry form with the following fields and buttons:

Объект	<input type="text" value="Прогресс"/>	<input type="button" value="начать ввод данных"/>
Год	<input type="text" value="2021"/>	<input type="button" value="следующая запись"/>
Дата	<input type="text" value="12.01"/>	<input type="button" value="сохранить"/>
Время	<input type="text" value="14:00"/>	<input type="button" value="выйти в главное меню"/>
Температура, с	<input type="text" value="8,3"/>	<input type="button" value="добавить другие данные"/>
Примечания	<input type="text"/>	

Рис. 11. Пример отображения формы введения новых данных

После ввода данных необходимо нажать кнопку «сохранить», затем можно выйти в главное меню и продолжить работу в базе данных.

Заключительный этап проходил с применением стандартных инструментов и макросов MS Access. Создавались кнопки навигации («следующая запись», «выйти в главное меню», «сохранить» и т. д.), выбирались размеры кнопок, виды и размеры шрифтов, а также фон форм, размеры отображаемых форм относительно всего экрана. Также решался вопрос о скрытии панели инструментов от пользователей.

Таким образом, создание базы данных «PAULAS» решило ряд проблем при работе с имеющимися данными полевых экспедиционных исследований, а именно:

- разрозненности данных: не редко процесс поиска и сбора необходимой информации становился крайне трудоемким и затратным по времени, поэтому создание базы данных позволило существенно облегчить и оптимизировать поиск и сбор данных;
- централизованного хранения информации, способствующего стандартизации дискретности измерений по времени и размерности. В пределах, на первый взгляд, единого научного пространства, измерения в экспедициях проводились с разной периодичностью, а иногда и в разной размерности, при наличии базы появилась возможность выбрать наиболее подходящую дискретность измерений по времени и размерности;
- локализации информации в базе данных, что обеспечивает более гибкую работу с данными, и позволяет оптимизировать поиск, обработку и анализ данных.

Вместе с этим база данных осуществляет хранение данных, выполняет стандартные операции обработки данных, таких как внесение новых данных или корректировка уже введенных.

Одним из примеров использования базы данных является построение композитного индекса прорывоопасности. Для его построения необходимо определить репрезентативные параметры прорывоопасности озер, затем, с помощью базы данных, провести отбор результатов измерений и наблюдений, связанных с каждым из выбранных параметров. Для выполнения этой задачи будут использованы:

- поисковая система с многокритериальным запросом – для поиска, группировки и дальнейшей обработки необходимых данных,
- карты и схемы – для выявления пространственной зависимости объектов, подвергаемых оценке,
- панель инструментов – для экспорта данных, в сторонние приложения для дополнительной обработки,
- гиперссылки на объекты в «google картах» – для визуального дешифрирования озер.

3. Пример применения СУБД. Разработка композитного индекса прорывоопасности на основе многокритериальной классификации.

Сложные системы в природе встречаются повсеместно, они состоят из отдельных элементов. Для определения прорывоопасности озер необходимо подобрать характеристики элементов системы, а также параметры окружающей среды, наиболее заметно влияющие на устойчивость наземных геосистем, а в случае прорывных озер на их прорывоопасность. Другими словами, определить критерии прорывоопасности озер. По отдельности каждый критерий характеризует объект с одной стороны, не рассматривая их эмерджентные (новое свойство системы не присущее ее элементам в отдельности) свойства. Композитные индексы позволяют «суммировать» несколько критериев и дать интегральную оценку параметру. Устойчивость озерных плотин или, напротив, их прорывоопасность является сложной системой. Прорывоопасность подразумевает влияние нескольких факторов на озерную стенку. Поэтому для оценки параметра «прорывоопасность озера» целесообразно использование именно композитного индекса.

Автором предпринята попытка обобщить характеристики озер, обуславливающие устойчивость плотины и синтезировать интегральный (композитный) индекс прорывоопасности озер, на примере оазиса Холмы Ларсеманн.

Разработка интегральной оценки прорывоопасности проходит в 5 этапов. На первом этапе подбираются и описываются параметры оценивания и определяются классы прорывоопасности (I – минимальная, II – ниже средней, III – средняя, IV – выше средней, V – максимальная). Для каждого класса задаются левая и правая границы изменения параметров. На втором этапе выполняется нормирование параметров по всем шкалам с учетом вида связи параметра со степенью прорывоопасности. На третьем этапе решается проблема выбора весов (приоритетов) оценивания. На четвертом этапе вводится вид интегрального

показателя (сумма нормированных значений характеристик, взятых со своим весом). Рассчитывается оценочная шкала интегрального показателя по совокупности всех характеристик. На последнем этапе рассматривается апробация подхода на примере расчета интегральных показателей потенциальной прорывоопасности для нескольких антарктических озер. Выявляется роль количества исходных параметров и их весомости в расчетах интегральных показателей устойчивости.

3.1. Обзор параметров прорывоопасности озер

Попытки классифицировать и оценить озера по различным параметрам делаются более 100 лет, это один из сложнейших теоретических проблем лимнологии. Отмечается большое значение классификаций озер с целью более рационального их использования в хозяйстве [8,29]. Кроме этого, с точки зрения жизнедеятельности горных и ледниковых озер, большое значение принимает параметр прорывоопасности озера. Прорыв озерной плотины может привести к нарушению логистических путей антарктических станций и является угрозой для здоровья исследователей. Своевременна оценка прорывоопасности озера позволит понизить риски и заблаговременно предпринять меры по оповещению сотрудников антарктических станций.

Определение прорывоопасности происходило путем изучения современного состояния проблемы по литературным источникам. Использовались уже существующие (Петраков Д.А.) [39] и разработанные автором настоящей работы шкалы оценки прорывоопасности.

Далее в работе будут приведены характеристики озер и окружающей среды, выбранные для оценки прорывоопасности.

3.1.1. Тип плотины

Исследователи ледниковых озер выявили зависимость между типом плотины и степенью прорывоопасности озера [10,16,39,65,71,73,74,81,82]. В опубликованных научных работах все факторы прорывоопасности сводятся к

тому, что разрушаемость материала плотины происходит под действием сил механического давления, физической или термической эрозии. Вместе с этим, плотины ранжируются по материалу сложения, ввиду того, что различные материалы (например, лед, морена, коренная порода) имеют разную устойчивость к внешним силам разрушения. На исследуемых озерах можно выделить следующие разновидности плотин по материалу сложения:

- ледяная;
- снежная;
- моренная;
- моренная с ледяным ядром (или линзами);
- сложенная коренными породами;

Ледяные и снежные перемычки, подпруживающие антарктические озера, относятся к числу слабых естественных плотин. Механизм разрушения таких плотин основан на термодинамическом процессе плавления льда при 0 °С (при нормальном давлении). Под действием термической эрозии разрушается порядок в кристаллах льда, происходит разрыв межатомных связей. Таким образом, ледяной фронт внутренней стенки озера постепенно переходит в жидкое состояние. В свой черед, снежные и ледяные дамбы имеют разную степень прорывоопасности – снежник характеризуется большей пористостью, чем лед. Так, снежник имеет большую площадь соприкосновения жидкой воды с ледяным материалом, вследствие чего усиливается интенсивность плавления кристаллов льда. В результате термической эрозии гляциального материала, в конечном счете, формируется поверхностное русло или внутренняя дренажная система, по которой вода вытекает из озера. Это явление распространено в ОГК и, зачастую, носит негативные последствия [18,40,41].

Устойчивость моренных перегородок зависит от сплоченности моренного материала, наличия страт (слоев, пластов), ледяных вкраплений и уровня воды в

озере. Процесс разрушения такой плотины происходит посредством фильтрации или перелива воды через гребень. При фильтрации просочившаяся в тело морены вода приводит к намоканию моренного материала, в следствие чего понижается сила сцепления частиц. Затем, путем внутренней эрозии дамбы образуются дренажные каналы, которые заполняются водой озера. При длительном процессе эрозии высока вероятность формирования прорана, за которым последует опорожнение озера. Отметим, что вышеописанный сценарий развития прорыва относительно редок, обычно поддерживается баланс между притоком воды в плотину и ее фильтрацией через тело дамбы [79].

При нахождении в теле моренной плотины ледяного ядра или ледяных линз процесс разрушения приобретает большую вероятность и скоротечность, ввиду одновременного действия динамического и термического факторов. Процесс плавления льда, как правило, протекает быстрее, чем образование дренажных каналов в моренном теле плотины посредством фильтрации. Плавление отдельных ледяных линз или ядра приводит к формированию канала стока, через который начинается размыв, что приводит к образованию прорана. Поэтому нахождение ледяных включений в теле дамбы повышает степень прорывоопасности озера.

Особенность моренного типа дамб заключается в их способности к аккумуляции огромного объема воды, ввиду затрат большего времени на эрозию, в то время как ледяные и снежные плотины имеют тенденцию к цикличному разрушению (в летнее время). Отсюда возникает проблема последствий катастрофического прорыва моренных озер. В работах [11,12,54] представлены данные о некоторых современных моренных озерах и случаях их прорывов.

К наиболее устойчивым к прорывам относятся плотины, сложенные коренными породами, ввиду их прочности. Это подтверждают, как многочисленные полевые наблюдения, так и научные труды. Например, в работе [19] отмечается, что депрессии в земной поверхности, сложенные коренными

породами, являются благоприятной территорией для аккумуляции осадков, в отличие от углублений, подпруженных моренным или рыхлообломочным материалом. Коренные породы, являясь прочным, плотным и твердым материалом, не подвергаются фильтрации, не восприимчивы к термическому воздействию воды и обладают высокой устойчивостью к эрозии, что делает их водонепроницаемым барьером, в следствии чего шанс прорыва озера с такой плотиной сводится к минимуму.

3.1.2. Характер стока через плотину

Черноморец С.С. и Петраков Д.А. в работах [10,39], соответственно, при оценивании прорывоопасности озер придают характеру стока через плотину значимый приоритет. До 20% веса в оценочной шкале прорывоопасности приходится именно на этот параметр. В настоящей работе автором выделены следующие типы стока:

- сток по поверхности плотины;
- сток через дренажную систему плотины;
- фильтрация через плотину;
- сток через постоянное русло;
- сток отсутствует;

Рассмотрим случаи стока по поверхности моренной плотины. Перелив инициируется в случае повышения уровня воды в озере до самой низкой части гребня плотины. Вода, стекая по телу дамбы, смачивает грунт, что, в свою очередь, ведет к сползанию внешнего слоя дамбы [85]. Также, переливаясь через гребень, вода начинает размывать кромку плотины, формируя русло стока. Размытие русла происходит из-за захвата водой частиц моренного материала. Степень интенсивности размытия русла зависит от продолжительности перелива воды и характеристик материала, из которого оно сложено. При длительном стоке воды сформированное русло углубляется и расширяется до момента выравнивания уреза воды с уровнем русла стока. В случае, когда моренный

материал в месте перелива достаточно прочен, есть вероятность формирования сравнительно постоянного русла стока, через который в последствии будет вытекать вода из озера. Такое русло может оставаться стабильным годы, а иногда и десятилетия [10]. При ослабленном грунте плотины из канала стока образуется проран [85].

Процесс разрушения ледяной или снежной дамбы при переливе схож по принципу с процессом разрушения моренной перегородки озера, однако для него характерна большая интенсивность, обусловленная усилением термической эрозии динамической составляющей. При выработке талой водой канала стока на гребне ледяной или снежной дамбы начинается перелив воды из озера. Таким образом, к процессу термического воздействия на перегородку добавляется динамическая составляющая. Динамическое воздействие заключается в физическом размывании водой стенок ледяного или снежного канала. Также начинает усиливаться термический фактор. В отсутствии стока, за счет нахождения воды в неподвижном состоянии, температура воды у ледяных стенок понижается, ослабляется процесс плавления льда. Однако при постоянном притоке воды из озера на стенки канала стока влияет вода с более высокой температурой. Отметим, что снежная дамба имеет меньшую устойчивость, чем ледяная, ввиду меньшей плотности снега.

Дренажная система представляет из себя один или несколько внутренних каналов стока воды, расположенных в донной части озера. Дренажная система выступает в роли разгрузочной гидрографической сети озера. В качестве каналов выступают как естественные трещины в грунте, так и каналы, сформированные в результате эрозии в слабых участках донной части озерной котловины. Дренажная система является регулятором уровня воды в озере, предотвращая перелив, что в целом понижает прорывоопасность плотины.

Отсутствие стока из озера приводит к аккумуляции воды в озерной котловине и дальнейшему переполнению водоема. С увеличением количества воды в озере, растет механическое давление. В итоге, при достижении критического давления на ледяную или снежную перегородку, последует ее разрушение и истечение воды с последующим образованием гротов [18]. Для моренной плотины высокий уровень воды становится триггером для начала фильтрационного процесса.

Процесс фильтрации был описан в главе 3.1, в разделе «тип плотины».

Термический фактор

В зарубежной научной литературе, посвященной вопросу прорывоопасности озер, для обозначения прорыва ледяного озера используется термин «Jökulhlaup» (Йекюльхлейп). Этот исландский термин впервые стал употребляться по отношению к подледным озерам Исландии, которые прорывались вследствие геотермального нагрева воды, а их режим характеризовался цикличностью. В дальнейшем термин jökulhlaup стал использоваться международным научным сообществом для характеристики гидрологического прорывных ледниковых озер.

Практическую значимость изучения jökulhlaup доказывают многочисленные публикации, посвященные его изучению. Например, в работах [64,66,72,84] авторы рассматривают характеристики процесса, выявляют факторы и описывают некоторые случаи прорывов ледниковых озер в Исландии, а также предпринимают попытку прогноза прорывов и математического моделирования процесса. Практическая значимость заключается в разработке математических моделей процесса прорыва ледниковых озер и для выявления факторов, обуславливающих прорывоопасность.

Так, исследования jökulhlaup в Швейцарии на примере пятидесятилетнего ряда наблюдений [80] за ежегодно прорывающимся внутриледниковым озером Горнерзее (Швейцарские Альпы) выявили, что вода под ледником

аккумулировалась за счет талых весенних вод и осадков. Проанализировав пятидесятилетний ряд наблюдений [80], исследователи отметили, что каждый год объем внутриледникового озера и прорывного паводка менялся. Matthias Huss и др. [80] связали это с различающимися от года к году метеорологическими параметрами (значениями температуры воздуха и осадками). В годы с малым количеством осадков (в том числе зимних) сток из озера был мал или отсутствовал совсем. В наиболее теплые и изобилующие зимними и летними осадками годы наблюдался значительный прорывной паводок. Таким образом, от изменчивости метеорологических параметров зависели характеристики прорывного паводка.

Аналогичные выводы фигурируют в работе [7]. Автор работы сообщает, что периодичность прорывов ледниковых озер антарктического оазиса Холмы Ларсеманн частично определяются климатическими колебаниями, и, по-видимому, прорывы озер будут происходить в наиболее теплые годы, ввиду увеличенного притока воды к озерам, обусловленного повышенным таянием накопленного за холодный период снега.

Степень влияния температуры воздуха и количества осадков на прорывоопасность озера рассмотрена в работе [73]. Так, одним из параметров прорывоопасности называются экстремальные метеорологические условия (экстремальная жара или сильный дождь). Повышение прорывоопасности обусловлено увеличением стока с водосбора, приводящим к повышению уровня воды озера.

Для выявления связей между колебаниями уровня воды антарктических озер оазиса Холмы Ларсеманн и температурой воздуха, были проанализированы графики хода уровней воды шести озер и графики хода температуры воздуха. Использовались данные измерений уровней воды, полученные в рамках 64-й и 65-й РАЭ за летний период. Температуры воздуха определялись по данным метеорологической ст. Прогресс, расположенной в оазисе Холмы Ларсеманн.

Анализ проводился путем сопоставления даты наступления минимумов и максимумов рассматриваемых характеристик. По значениям экстремумов были рассчитаны диапазоны изменений температур и уровней. По найденным значениям выявлена зависимость колебаний уровня воды от изменений температуры. Корреляция четко прослеживается в первой половине теплого периода, затем понижается, это обусловлено таянием основного количества снега на водосборе, накопленного за холодный период.

В оазисе Холмы Ларсеманн около 70% осадков выпадает в холодный период [43]. Накопленный за холодный период снег с приходом положительных температур начинает таять и питать озера, повышая их уровень. При этом, чем выше интенсивность таяния, тем интенсивнее растет уровень воды в озере. В свою очередь, интенсивный рост уровня воды в озере провоцирует, как максимум перелив через плотину, как минимум усиление механического давления и термоэрозионного эффекта за стенку озера, повышая тем самым прорывоопасность озера.

На основании вышеизложенного выделено два параметра обуславливающих прорывоопасность озера – температура воздуха, влияющая на уровень воды в озере путем плавления снега на водосборе с последующим его стоком в озеро, и количество накопленного за холодный период снега, определяющее возможную величину стока с водосбора в озеро. Для введения этих параметров в оценочную шкалу нормируется сумма активных температур за первую половину теплого периода и сумма осадков за холодный период, предшествующий расчетному теплomu периоду.

Каскадность

Рассмотрим системы каскадных озер оазиса Холмы Ларсеманн. В техническом отчете [51] отмечается связь озер Прогресс и Сибторп. Вначале талые воды с водосбора стекают в озеро Прогресс, затем перетекает в озеро Сибторп. Иногда такой сброс воды в озеро Сибторп носит катастрофический

характер. Вместе с этим в работе [7] сообщается, что озеро ЛН-73, расположенное рядом с системой озер Прогресс-Сибторп, уровень воды в котором выше на 50-60 метров уровня воды в озере Прогресс, также является частью каскадной системы. Так, после переполнения котловины озера ЛН-73 или разрушения его снежной перемычки, вода из озера устремляется к озеру Прогресс, резко повышая его уровень, увеличивая давление на стенки озера, повышая шанс инициации прорыва последнего. Аналогичный процесс разгрузки одного озера в другое характерно для систем озер Нелла (ЛН-59)-Дискашн и Болдер-Ледяное [7].

Система каскадных озер Фигурное-Долинное отмечена в отчетах о гидрологических исследованиях РАЭ в оазисе Бангера [33,34]. При этом, на пути потока из озера Фигурное в озеро Долинное, находятся 2 малых безымянных озера, расположенных друг за другом. Судя по всему, при прорыве озера Фигурное и последующем его стоке, сначала происходит последовательный прорыв двух безымянных озер, после чего сток устремляется в озеро Долинное.

Прорыв каскадного озера и последующая разгрузка вод приводит к резкому росту уровня воды нижележащего озера. Таким образом, резкое повышение давления на стенки, провоцирует разрушение плотины [59].

Получены 5 параметров прорывоопасности:

- Тип плотины
- Характер стока через плотину
- Сумма активных температур за первую половину теплого периода
- Сумма осадков, накопленная за холодный период
- Каскадность

На следующем этапе, после отбора и описания репрезентативных параметров по литературным источникам, была разработана многокритериальная классификация прорывоопасности по совокупности отобранных критериев. Для этого были введены классы прорывоопасности с

учетом вида связи параметра со степенью прорывоопасности (прямая-обратная, линейная-нелинейная связь). На данном этапе работ принималась линейная связь параметров с оцениваемым свойством. В классификации принято увеличение прорывоопасности от I к V классу. Таким образом, первый класс является минимально опасным для прорыва, а пятый класс – максимально опасным. В классификации для каждого признака были заданы левая и правая границы для каждого класса прорывоопасности.

На следующем этапе был выполнен перевод всех значений параметров шкал к безразмерному виду. Для этого выполнялось нормирование значений показателей в шкалах для левой и правой границы каждого класса. Для параметров, характеризующих оцениваемое свойство на качественном уровне («много-мало», «высокое-низкое» и т.п.) были введены бальные шкалы оценивания (табл. 1).

Вид нормирующих функций учитывает прямую и обратную связь параметра с оцениваемым свойством, а также возможную нелинейность функций:

$$\text{при } x_i \leq \min_i, \quad q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, \text{ при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, \quad \text{при } x_i > \max_i, \end{cases} \quad (1)$$

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, \quad \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, \text{ при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 0, \quad \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2)$$

В (1), (2): q_i – преобразованное (нормированное) значение характеристики; x_i – текущее значение параметра; \min_i – минимальное (фоновое, допустимое, безопасное, предельно-допустимое и т.п.) значение критерия; \max_i – максимальное значение критерия; l – показатель степени,

отражающий возможную нелинейность связи параметров с оцениваемым качеством. В нашем случае полагалось, что $l = 1,0$ (линейное приближение функций 1 и 2). Диапазон изменения q_i всегда находится в пределах от 0,0 до 1,0. Таким образом, исходные критерии в различных шкалах измерения приводятся к безразмерным шкалам, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя.

Таблица 1. Классификация оценки прорывоопасности озер

Номер и название параметра прорывоопасности	Классы и оценочные шкалы для параметров						
	I Низкая	II Ниже средней	III Средняя	IV Выше средней	V Высокая	min	max
1.Тип плотины, балл	Скальные породы 0-10	Моренная 10-30	Моренная с ледяными включениям и 30-60	Ледяная 75-85	Снежная 85-100	0	100
2.Тип стока, балл	Сток через постоянное русло 0-10	Сток через дренажную систему 10-40	Фильтрация 40-60	Сток по поверхности плотины 60-80	Нет стока 80-100	0	100
3.Каскадность, балл	Нет 0-0	Нет 0-0	Нет 0-0	Каскад из 2 озер 0,8-0,9	Каскад из 3 и более озер 0,9-1	0	1
4.Сумма активных температур, t°C	86-137	137-188	188-239	239-308	308-378	86	378
5.Сумма осадков за холодный период, мм	108-154	154-198	198-243	243-288	288-332	108	322

Затем, с помощью преобразований (1) и (2) избавляемся от размерности исходных характеристик в табл.1, так чтобы по шкале прорывоопасности 0,0 соответствовал минимальной (низкой) прорывоопасности, а 1,0 – максимальной

(высокой). При нормировании в нашем случае используем правило перевода шкал в безразмерный вид: $(x_i - min)/(max - min)$. Принятые значения max и min приведены в таблице 1. В результате выполнения нормирования таблица 1 преобразуется в таблицу 2.

Таблица 2. Классификация оценки прорывоопасности озера
(нормированные значения показателей)

Номер параметра прорывоопасности	Классы и оценочные шкалы для параметров				
	I Низкая	II Ниже средней	III Средняя	IV Выше средней	V Высока
1	0,00-0,10	0,10-0,30	0,30-0,60	0,75-0,85	0,85-1,00
2	0,00-0,10	0,10-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
3	0,00	0,00	0,00	0,80-0,90	0,90-1,00
4	0,00-0,17	0,17-0,34	0,34-0,52	0,52-0,76	0,76-1,00
5	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
Интегральный показатель прорывоопасности (ИПП)	 0,00-0,11	 0,11-0,29	 0,29-0,47	 0,65-0,82	 0,82-1,00

Затем был выбран вид композитного индекса, который в нашем случае представляет собой сумму разновесомых значений нормированных показателей.

$$\text{ИПП}(q_1, \dots, q_5; w_1, \dots, w_5) = \sum_{i=1}^5 q_i w_i \quad (3)$$

где q_i – преобразованное (нормированное) значение характеристики, w_i – вес параметра в сводной оценке. Для задания w_i используется правило: $0,0 \leq w_i \leq 1,0$ и $\sum_{i=1}^m w_i = 1,0$. В нашем случае $w_1 = w_2 = w_4 = w_5 > w_3$, $w_1 = 0,24$, $w_3 = 0,05$.

После этого были получены композитные показатели для левой и правой границ всех классов. Таким образом была получена шкала для интегрального показателя прорывоопасности (ИПП). В последней строке таблицы 2 приведена

шкала интегрального (композитного) показателя прорывоопасности, которая использовалась в дальнейшем при расчете ИПП для ключевых объектов исследования. ИПП зависит не только от результата нормирования, но и от значимости критериев, определяемой весовыми коэффициентами, сумма которых должна равняться 1,0.

3.2. Апробация композитного индекса прорывоопасности на примере озер оазиса Холмы Ларсеманн

На последнем этапе проводим расчет композитного индекса прорывоопасности на примере нескольких озер оазиса Холмы Ларсеманн, при максимальной возможной сумме: накопленных твердых осадков за холодный период и активных температур. Оценка по отдельным критериям может иметь разброс в несколько классов. Так же будем отмечать близость результата к правой или левой границе класса. По правилам построения исходной классификации рассчитаем значение интегрального показателя прорывоопасности для нескольких озер (ИПП) (табл. 3-5).

Таблица 3. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Прогресс, при максимальной сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q ₁)	Произведение результата нормирования q ₁ на вес критерия w _i
1	92 (V)	0,92	q ₁ w ₁ =0,92*0,24=0,220
2	90 (V)	0,90	q ₁ w ₁ =0,90*0,24=0,220
3	0,9 (IV)	0,90	q ₁ w ₁ =0,90*0,05=0,045
4	378 (V)	1	q ₁ w ₁ =1*0,24=0,240
5	332 (V)	1	q ₁ w ₁ =1*0,24=0,240
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i$ = 0,965 (V класс, правая граница)

Таблица 4. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Степед, при максимальной сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q1)	Произведение результата нормирования q _i на вес критерия w _i
1	10 (I)	0,10	q ₁ w ₁ =0,10*0,24=0,024
2	10 (I)	0,10	q ₁ w ₁ =0,10*0,24=0,024
3	0 (I)	0	q ₁ w ₁ =0*0,05=0
4	378 (V)	1	q ₁ w ₁ =1*0,24=0,240
5	332 (V)	1	q ₁ w ₁ =1*0,24=0,240
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i = 0,528$ (граница III – IV класс)

Таблица 5. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Ледяное, при максимальной сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q1)	Произведение результата нормирования q _i на вес критерия w _i
1	75 (V)	0,75	q ₁ w ₁ =0,75*0,24=0,180
2	90 (V)	0,90	q ₁ w ₁ =0,80*0,24=0,192
3	80 (IV)	0,80	q ₁ w ₁ =0,8*0,05=0,040
4	378 (V)	1	q ₁ w ₁ =1*0,24=0,240
5	332 (V)	1	q ₁ w ₁ =1*0,24=0,240
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i = 0,892$ (V класс середина)

По результатам оценки прорывоопасности (табл. 3-5) 3 озера были определены в разные классы опасности: оз. Прогресс – высокий класс (правая

граница), оз. Степед – граница III-IV класса и оз. Ледяное – высокий класс (середина). Соотнеся полученные классы и наблюдаемые данные по прорывам озер получим следующий итог: оз. Прогресс (V класс) – прорывается практически ежегодно, оз. Ледяное (V класс) – прорывается периодически и оз. Степед (III класс) не прорывается. Однако, отметим, что классы были получены при учете максимальных сумм: активных температур и накопленных твердых осадков за холодный период. Сопутствие максимумов данных метеорологические значения явление довольно редкое, как правило летний период характеризуется – асинхронностью данных метеорологических значений. В большинстве случаев значения метеорологических параметров характеризуются хаотичностью распределения. Проведем оценку прорывоопасности ранее оцененных озер, но возьмем средние значения метеорологических параметров III класса прорывоопасности (табл. 6-8).

Таблица 6. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Прогресс, при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q_i)	Произведение результата нормирования q_i на вес критерия w_i
1	92 (V)	0,92	$q_i w_i = 0,92 * 0,24 = 0,220$
2	90 (V)	0,90	$q_i w_i = 0,90 * 0,24 = 0,220$
3	0,9 (IV)	0,90	$q_i w_i = 0,90 * 0,05 = 0,045$
4	213 (III)	0,43	$q_i w_i = 0,43 * 0,24 = 0,103$
5	220 (III)	0,5	$q_i w_i = 0,5 * 0,24 = 0,120$
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i$ = 0,748 (IV класс, правая граница)

Таблица 7. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Степед, при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q1)	Произведение результата нормирования q _i на вес критерия w _i
1	10 (I)	0,10	q ₁ w ₁ =0,10*0,24=0,024
2	10 (I)	0,10	q ₁ w ₁ =0,10*0,24=0,024
3	0 (I)	0	q ₁ w ₁ =0*0,05=0
4	213 (III)	0,43	q ₁ w ₁ =0,43*0,24=0,103
5	220 (III)	0,50	q ₁ w ₁ =0,5*0,24=0,120
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i$ = 0,271 (II класс, правая граница)

Таблица 8. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Ледяное, при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q1)	Произведение результата нормирования q _i на вес критерия w _i
1	85 (V)	0,85	q ₁ w ₁ =0,85*0,24=0,180
2	90 (V)	0,90	q ₁ w ₁ =0,80*0,24=0,192
3	80 (IV)	0,80	q ₁ w ₁ =0,8*0,05=0,40
4	213 (III)	0,43	q ₁ w ₁ =0,43*0,24=0,103
5	220 (III)	0,50	q ₁ w ₁ =0,5*0,24=0,120
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i$ = 0,659 (IV класс, левая граница)

В результате оценки с выбором сумм средних значений метеорологических параметров, классы прорывоопасности озер ожидаемо понизились. По результатам оценки прорывоопасности (табл. 6-8) 3 озера были определены в следующие классы опасности: оз. Прогресс – класс прорывоопасности выше среднего (середина класса), оз. Степед – класс прорывоопасности ниже среднего (ближе к правой границе класса) и оз. Ледяное – класс прорывоопасности выше среднего (ближе к левой границе класса). Заметно как метеорологические параметры влияют на класс прорывоопасности, в результате уменьшения их значений наполовину, все 3 выше описываемые озера перешли в пограничный, менее опасный класс прорывоопасности. Выводом является значимость изменчивости метеорологических факторов, как влияющие на степень прорывоопасности озер.

Ранее упоминалось о редком сопутствии экстремумов метеорологических параметров в рамках одного года, однако, холодный период 2007 года и теплый период 2007-2008 года характеризовались минимальными значениями как накопленных твердых осадков, так и минимальной суммой активных температур соответственно. На примере этого реального случая рассмотрим прорывоопасность оз. Прогресс (табл. 9).

Таблица 9. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Прогресс, при минимальной сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q1)	Произведение результата нормирования q _i на вес критерия w _i
1	92 (V)	0,92	$q_1w_1=0,92*0,24=0,220$
2	90 (V)	0,90	$q_1w_1=0,90*0,24=0,216$
3	0,8 (IV)	0,80	$q_1w_1=0,80*0,05=0,40$

Продолжение таблицы 9

4	111 (I)	0,08	$q_1 w_1 = 0,08 * 0,24 = 0,019$
5	131 (I)	0,10	$q_1 w_1 = 0,10 * 0,24 = 0,024$
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_i w_i = 0,519$ (граница III – IV класса)

По результатам оценки (табл. 9) степень прорывоопасности оз. Прогресс понизилась до промежуточного значения III-IV класса (ближе к IV классу). При максимальных и средних значениях сумм метеопараметров прорывоопасность оз. Прогресс относилась к V и IV классу соответственно. По-видимому, именно годовая изменчивость метеопараметров в значительной степени определяет случаи, когда практически ежегодно прорывающиеся озера (н-р оз. Прогресс) не прорываются, ввиду того, что тип плотины, тип стока и каскадность сравнительно постоянные параметры озера.

На оз. Нелла прорывы ее плотины происходят почти каждый год, оз. Лоу напротив – по наблюдаемым данным не прорывается, либо случаи его прорыва нам не известны. Рассчитаем для выше названных озер композитный индекс прорывоопасности, при этом метеопараметры возьмем III класса (средняя сумма значений) (табл. 10,11).

Таблица 10. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Лоу, при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q_1)	Произведение результата нормирования q_i на вес критерия w_i
1	10 (I)	0,10	$q_1 w_1 = 0,10 * 0,24 = 0,024$

Продолжение таблицы 10

2	10 (I)	0,10	$q_1w_1=0,10*0,24=0,024$
3	0 (I)	0	$q_1w_1=0*0,05=0$
4	213 (III)	0,43	$q_1w_1=0,43*0,24=0,103$
5	220 (III)	0,50	$q_1w_1=0,5*0,24=0,120$
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_iw_i$ = 0,271 (II класс, правая граница)

Таблица 11. Пример исходных данных и результат оценки прорывоопасности оз. Нелла, при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных осадков за холодный период.

№ Критерия	Численное значение и класс параметра (по табл. 1)	Результат нормирования (q_i)	Произведение результата нормирования q_i на вес критерия w_i
1	100 (V)	1,00	$q_1w_1=1,00*0,24=0,240$
2	90 (V)	0,90	$q_1w_1=0,90*0,24=0,216$
3	0 (I)	0	$q_1w_1=0*0,05=0$
4	213 (III)	0,43	$q_1w_1=0,43*0,24=0,103$
5	220 (III)	0,50	$q_1w_1=0,5*0,24=0,120$
		ИПП=	$\sum_{i=1}^5 q_iw_i$ = 0,679 (IV класс, левая граница)

Результаты оценки (табл. 10,11) удовлетворительные, класс прорывоопасности озера Лоу – II, оз. Нелла при средней сумме значений метеорологических параметров по расчетам попал в IV класс.

Получен интегральный показатель прорывоопасности (ИПП) для 5 озер оазиса Холмы Ларсеманн: Прогресс, Ледяное, Нелла, Лоу и Степед. При расчете ИПП озер рассматривались следующие параметры: тип плотины, характер стока через плотину, каскадность, сумма активных температур до 2-ой половины

антарктического лета и количество накопленных за холодный период твердых осадков.

- Для озера Прогресс ИПП рассчитан при минимальных, средних и максимальных сумм значений: активных температур и количества накопленных за холодный период осадков, получены классы опасности - граница III-IV, IV и V класс соответственно.
- Для озера Степед ИПП рассчитан при средних и максимальных суммах значений: активных температур и количества накопленных за холодный период осадков, получены классы опасности - II и граница III-IV класс соответственно.
- Для озера Ледяное ИПП рассчитан при средних и максимальных суммах значений: активных температур и количества накопленных за холодный период осадков, получены классы опасности - IV и V класс соответственно.
- Для озера Лоу ИПП рассчитан при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных за холодный период осадков, полученный классы опасности - II.
- Для озера Нелла ИПП рассчитан при средней сумме значений: активных температур и количества накопленных за холодный период осадков, полученный классы опасности - IV.

Из полученных результатов следует, что разработанный композитный индекс может использоваться при оценке прорывоопасности антарктических озер. Озера, имеющие частую периодичность прорывов, при различных значениях метеопараметров попали в IV и V класс прорывоопасности, в том числе не каскадные озера. Лишь при минимальных значениях метеопараметров часто прорывающееся озеро Прогресс, попало в границу III-IV класса прорывоопасности, судя по всему, именно в годы с малыми прогревом и запасом

снега на водосборе озера, вероятность прорыва становится минимальной. Не прорывающиеся озера Лоу и Степед при средних значениях метеопараметров по расчетам попали во II класс опасности, однако при максимальных значениях метеопараметров прорывоопасность повысилась до границы III-IV класса. Дальнейшие шаги – уточнение шкал, проверка учета разных весов (приоритетов) и выявление критических значений параметров, при которых происходят прорывы. Выявлены критические классы прорывоопасности (IV, V), при которых вероятность прорыва высока и требуется неотлагательное дополнительное исследование водного объекта для уточнения его состояния.

Заключение

При решении практически важных гидрологических задач требуется привлечение современных комплексов программ. Разработанная база данных, объединяющая разнородную графическую информацию, данные измерений и данные наблюдений, позволяет эффективно решать различные прикладные задачи. Так, созданная база данных была использована для разработки композитного индекса прорывоопасности антарктических озер, на примере озер оазиса Холмы Ларсеманн.

В ходе проведенного исследования были решены следующие задачи:

- выполнен анализ более 80-ти опубликованных источников и 8 баз данных по данной тематике;
- разработана база данных, по материалам экспедиционных исследований ИНоЗ СПбГУ на озерно-гляциальных комплексах антарктических оазисов и Алтая,
- определены репрезентативные параметры прорывоопасности,
- разработан композитный индекс прорывоопасности на основе многокритериальной классификации,
- композитный индекс прорывоопасности апробирован на примере озер антарктического оазиса Холмы Ларсеманн.

Анализ 8 тематически близких баз данных позволил выявить достоинства и недостатки присущие современным базам данных. В результате проведенного анализа была создавалась собственная СУБД. Для разработки СУБД спроектирована схема данных, практичный интерфейс управления, многофункциональная поисковая система с возможностью многокритериального запроса, а также создан инструмент для добавления новых данных в базу. Таким образом, создание «База данных для полярных и горных озерно-гляциальных комплексов на примере Антарктиды и Алтай-Саянской горной системы» решило

ряд проблем при работе с имеющимися данными полевых экспедиционных исследований, а именно:

1. Разрозненности данных.
2. Структурированности данных.
3. Трудоемкого поиска и извлечения данных.
4. Доступности данных.

Разработанный с помощью базы данных, композитный индекс прорывоопасности является первым случаем применения СУБД для разработки интегрального показателя прорывоопасности.

Композитный индекс прорывоопасности апробирован на 5-ти озерах оазиса Холмы Ларсеманн, в результате чего были сделаны следующие выводы:

1. Озера, имеющие частую периодичность прорывов, при различных значениях метеопараметров попадают в IV и V класс прорывоопасности, в том числе некаскадные озера. Лишь при минимальных значениях метеопараметров часто прорывающееся озеро Прогресс, попало в границу III-IV класса прорывоопасности. Судя по всему, именно в годы с малыми прогревом и запасом снега на водосборе, вероятность прорыва становится минимальной.
2. Непрорывающиеся озера Лоу и Степед при средних значениях метеопараметров попали во II класс прорывоопасности. Однако при максимальных значениях метеопараметров прорывоопасность повысилась до границы III-IV класса. В случае непрерывающихся озер (Лоу, Степед), III-IV класс прорывоопасности является завышенным, в связи с этим в дальнейшем планируется уточнение шкал прорывоопасности.
3. Выявлена зависимость между метеорологическими параметрами и степенью прорывоопасности озер. В наиболее теплые и с наибольшим снежным покровом годы прорывоопасность озер повышается. В

качестве дальнейших шагов данного исследования планируется уточнение шкал, проверка учета разных весов (приоритетов), апробирование композитного индекса прорывоопасности на примере озер оазиса Бангера.

4. Выявлены критические классы прорывоопасности (IV, V), при которых вероятность прорыва высока и требует неотлагательного дополнительного исследования водного объекта для уточнения его состояния.

Из полученных результатов следует, что разработанный композитный индекс может использоваться при оценке прорывоопасности антарктических озер лицами, принимающими решения для выбора логистических путей, решения вопроса развертывания стационарных или временных полевых баз, и других объектов инфраструктуры.

Благодарности

Автор искренне благодарит своего научного руководителя *Пряхину Г.В.* и своего научного консультанта *Четверову А.А.* за доброжелательное отношение, всестороннюю поддержку и критические замечания, которые позволили улучшить качество настоящей работы, а также профессора кафедры «Гидрология суши» ИНоЗ СПбГУ *Дмитриева В.В.* за ценные советы при построении композитного индекса прорывоопасности на основе многокритериальной классификации.

Автор благодарит своих коллег *Боронину А.С., Распутину В.А., Кузнецову М.Р., Попова С.В.*, а также своего научного консультанта *Четверову А.А.* за предоставление материалов экспедиционных исследований на озерно-гляциальных комплексах антарктических оазисов, Алтая и Монголии.

Список литературы

- 1) Авсюк Г.А., Марков К.К., Шумский П.А. Географические наблюдения в Антарктическом оазисе // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1956, т. 88, вып. 4, с. 316-350.
- 2) Агатова А.Р., Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Непоп Р.К., Банцев Д.В., Боронина А.В., Распутина В.С., Пряхина Г.В., Кашкевич М.В., Панютин Н.В., Волкова Д.Д. Изменение уровня и направления стока моренно-подпрудного озера Нурганы-Нур в гляциальной зоне массива Цамбагарав (Монголия) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). 2019. Выпуск 17. С. 16-17.
- 3) Бардин В.И., Короткевич Е.С., Лебедев В.Л. и др. Географическое описание // Атлас Антарктики. Л., Гидрометеиздат, 1969, т. 2, с. 17-32.
- 4) Бородавко П.С. Основные черты лимногенеза большого Алтая в неоплейстоцене // Природные условия, история и культура западной Монголии и сопредельных регионов, Ховд, 18-21 сентября 2015 г.
- 5) Боронина А.С., Попов С.В., Пряхина Г.В. Гидрологическая характеристика озер восточной части полуострова Брокнес, холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида // Лед и Снег 2019 Т. 59 № 1. Стр. 308.
- 6) Боронина А.С., Попов С.В., Пряхина Г.В. Гидрологическая характеристика озер восточной части полуострова Брокнес, холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида // Лед и Снег 2019 Т. 59 № 1. Стр. 313.
- 7) Боронина А. С. Четверова А. А. Попов С. В. Пряхина Г. В. Обзор потенциально прорывоопасных озер и последствия прохождения их паводков в районах холмов Тала и Ларсеманн (Восточная Антарктида) // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 5–7 июня 2019 г.
- 8) Верещагин Г.Ю. Методы морфологической характеристики озер // Труды Олонецкой науч. эксп. - 1980. Ч. II, вып. 1. - 114 с.
- 9) Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки // Л.: Гидрометиздат, 1977, 153 с.
- 10) Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки // Ленинград: Гидрометеиздат, 1977, 154 с.

- 11) Висхаджиева К.С., Черноморец С.С. Оценка опасности развития катастрофических процессов при прорыве ледниковых озер в горах Центральной Азии // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 18–21 мая 2015 г стр. 60-63.
- 12) Висхаджиева К.С., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Петраков Д.А., Докукин М.Д., Тутубалина О.В., Ерохин С.А., Глазырин Г.Е., Петров М.А., Штоффел М. Сели прорывного генезиса в бассейне реки Шахимардан (Кыргызстан, Узбекистан): события прошлого и современное состояние // сборник Снежные лавины, сели и оценка риска. Выпуск 4, место издания Изд-во «Перо» Москва, с. 3-17.
- 13) Ганюшкин, Д. А. Горные геосистемы внутриконтинентальных регионов Азии структура и современная динамика // Вопросы географии. М: Издательский дом «Кодекс», 2014. - Сб. 137: Горные исследования. Горные регионы северной Евразии. Развитие в условиях глобальных изменений. - С. 83-106.
- 14) Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Чистяков К.В. Динамика многолетник снежников и снежно-фирновых полей массива Монгун-Тайга // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2012. Вып.4.
- 15) Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В. Современное оледенение хребта Цамбагарав (северо-западная Монголия) и его изменение с максимума малого ледникового периода // Лед и Снег. 2016. Т. 56 № 4.
- 16) Голубев Г.Н. Гидрология ледников. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976, 247 с.
- 17) Григорьев Н.Ф. Формирование рельефа и мерзлых горных пород побережья Восточной Антарктиды // М., Изд-во АН СССР, 1962, 147 с.
- 18) Григорьева С.Д., Суханова А.А., Тюрин С.В. Прорывы ледниковых и подледниковых озер в районе антарктической станции Прогресс, Восточная Антарктида, в 2017 - 2018 гг. // Труды 5-й международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Тбилиси, Грузия, 2018 г.
- 19) Демидов И. Н., Лукашов А. Д. Рельеф и четвертичные отложения ботанического сада петрозаводского государственного университета, как основа его современных ландшафтов // Hortus Botanicus, 2001, 1, Р. 25—33.
- 20) Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем // Вестник СПбГУ. 2014. Серия 7. Геология. География. № 4. С. 114–130.

- 21) Зимницкий А. В. Изучение приледниковых озер Кавказа: проблемы и перспективы // Сб.матер. XV межреспубл. науч.-практич. конф. «Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий». Краснодар, 2002. С. 238-239.
- 22) Зимницкий А. В. Приледниковые озера Большого Кавказа: новые направления исследований // Вестник КрОРГО. 2005. С. 64-72.
- 23) Зимницкий А. В. Причины формирования подпрудного озера в верховьях р. Кубань // Сб. матер. I регион. науч.-практич. конф. «Экономика Северо-Кавказского региона на пути к устойчивому развитию в рыночных условиях». Краснодар, 2003. С. 223-224.
- 24) Зимницкий А. В., Ефремов Ю. В. Методика геоинформационного картографирования приледниковых озер и краевых частей ледников на Большом Кавказе // Сб. науч. тр. «Проблемы непрерывного географического образования и картографии». Вып. 4. Харьков, 2004. С. 130-133.
- 25) Куровская В.А., Черноморец С.С., Виноградова Т.А., Висхаджиева К.С., Мавлоназаров О.Н., Бобов Р.А. Оценка количественных характеристик селевого потока 2015 г. в долине р. Барсемдара. (Таджикистан) по видеоматериалам и результатам моделирования // Журнал Геориск, том 14, № 3, с. 12-22.
- 26) Марков К.К., Бардин В.И., Лебедев В.Л. и др. География Антарктиды // М., Мысль, 1968, 439 с.
- 27) Лаврентьев И.И., Петраков Д.А., Кутузов С.С., Коваленко Н.В., Смирнов А.М. Оценка потенциала развития ледниковых озер на Центральном Кавказе // Журнал Лед и снег, том 60, № 3, с. 343-360.
- 28) Модель Ю.М. Природа антарктических оазисов и проблема их происхождения // Материалы гляциол. исслед., 1973, № 21, с. 108-115.
- 29) Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер // Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2009. — 160 с.
- 30) Отгонбаяр Д. Современное оледенение Монгольского Алтая (на примере хребтов Мунххайрхан, Сутай, горного узла Цамбагарав) // Барнаул: Бизнес-Коннект, 2013. 156 с.
- 31) Отгонобаяр Д. Водно-ледниковые ресурсы бессточных районов Западной Монголии; современная оценка и тенденция изменения // Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. НИ ТГУ, 2012 г.

- 32) Отгонобаяр Д. Современное оледенение горного узла Цамбагарав Ул (Монгольский край) // Climatogenic transformation of the alpine landscapes in Mongolian and Siberian Altai. 2011.
- 33) Отчет об исследованиях по лимнологии в Оазисе Бангера в период 32-й сезонной САЭ // Фонды ААНИИ. Л., 1987, 74 с.
- 34) Отчет о научных наблюдениях по геоморфологии и палеогеографии в оазисе Бангера в период 32 сезонной САЭ //Фонды ААНИИ. Л., 1987, 82с.
- 35) Отчет о гидрологических исследованиях, проведенных в оазисе "Бангера" в сезон 33-й САЭ // Фонды ААНИИ. Л., 1988, 59 с.
- 36) Отчет о гидрологических исследованиях, проведенных в оазисе "Бангера" в сезон 34-й САЭ // Фонды ААНИИ. Л., 1989, 85 с.
- 37) Отчет о гидрологических исследованиях, проведенных в оазисе "Бангера" в сезон 38-й САЭ // Фонды ААНИИ. СПб, 1994, 76 с.
- 38) Пальгов Н.Н. К вопросу о происхождении "оазисов" в Антарктиде // Вестн. АН КазССР, 1956, № 12(141), с. 52-54.
- 39) Петраков, Д.А. (2008). Селевая опасность ледниковых озер и оценка вероятности их прорыва. В: Международная конференция «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» // материалы международной конференции. Пятигорск: Издательство: Институт "Севкавгипроводхоз", 309-312
- 40) Попов С.В., Пряхина Г.В., Боронина А.С. Последствия прорыва озера Болдер (Холмы Ларсеманн, восточная Антарктида) // ХОЛОД'ОК, 1 (16) 2018.
- 41) Пряхина Г.В., Боронина А.С., Попов С.В., Четверова А.А. Гидрологические исследования прорывных озер антарктических оазисов // Метеорология и гидрология, С. 94-102, 2020 г.
- 42) Распутина В.А., Пряхина Г.В., Банцев Д.В., Панютин Н.А., Волкова Д.Д., Николаев М.Р., Сыроежко Е.В., Ганюшкин Д.А. Оценка потенциальной прорывоопасности озер в районе горного массива Монгун-Тайга // Четвертые Виноградовские чтения. гидрология от познания к мировоззрению, Санкт-Петербург, 23-31 октября 2020 года.
- 43) Русин Н.П. Метеорологический и радиационный режим Антарктиды // Л.: Гидрометеиздат, 1961. 448 с.
- 44) Свирипов С.С., Глушко А.А., Рыженкова И.В., Корнаухов И.Д., Акилов Е.В., Землянкова А.А., Кузнецова М.Р. Выявление и оценка риска прорыва горных озер

берегового хребта Кордильер и Патагонских Анд // Четвертые Виноградовские чтения. гидрология от познания к мировоззрению, Санкт-Петербург, 23-31 октября 2020 года.

- 45) Седова С.А., Дмитриев В.В., Четверова А.А. // База данных для выявления экологического статуса и факторов массообмена в водной экосистеме на примере озера "Суури" (lake-suuri-ecosystem).
- 46) Сократова И.Н. Комплексные исследования в оазисе Бангера (Восточная Антарктида) // Тезисы конференции Ф «Комплексные междисциплинарные исследования полярных районов»; 9-11 октября 2011 г. г. Сочи. — [М.: Научный совет] РАН [по изучению Арктики и Антарктики, 2011]. — С. 65-66.
- 47) Сократова И.Н., Веркулич С.Р., Большианов Д.Ю., Меллес М. Развитие природной среды оазиса Бангера (побережье Восточной Антарктиды) в конце позднего плейстоцена и в голоцене по результатам изучения донных отложений озер и эпипещельных водоемов // Антарктика: Докл. космис. Вып. 34. М.: Наука, 1998. — С. 101-105.
- 48) Сократова И.Н., Федорова И.В., Веркулич С.Р., Помелов В.Н. Влияние прошлых и современных природных условий на озера оазиса Бангера (Восточная Антарктида) // Арктика и Антарктика Вып. 1(35). М.: Наука, 2002. С. 71-81. Н.И
- 49) Сократова И.Н., Нерешенные вопросы происхождения и эволюции антарктических оазисов // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 1, с. 3-16.
- 50) Симонов И.М. Оазисы Восточной Антарктиды // Л., Гидрометеиздат, 1971, 176 с.
- 51) Фонды ААНИИ, № О-3553: Отчет о работе станции Прогресс, 48 РАЭ. СПб., 2004. 204 с.
- 52) Хорев В.Д. Самоучитель программирования на VBA в Microsoft Office // Юниор, 2001.
- 53) Черноморец С.С., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Петраков Д.А., Татубалина О.В., Шахмина М.С., Эванс С. Дж. Ледниковые озера на Кавказе: опасность прорывов и опыт прогнозов // Конференция: снежные лавины, сели и оценка риска. Выпуск 2. 2009.
- 54) Черноморец С.С., Татубалина О.В., Алейников А.А. Новые селеопасные озера у края ледника Башкара на Центральном Кавказе // Материалы гляциол. исслед., 2003, № 95, с. 153-160.
- 55) Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А., Беккиев М.Ю., Висхаджиева К.С., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Кидяева В.М., Крыленко В.В., Крыленко

- И.В., Крыленко И.Н., Рец Е.П., Савернюк Е.А., Смирнов А.М. Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // Криосфера Земли. 2018. Том XXII. № 2. С. 70-80.
- 56) Четверова А.А., Федорова И.В., Убович С., Боброва О.Н., Алексеева Н.К. // База Данных Для Гидролого-Геохимических Характеристик Дельты Реки Лены (Lena Delta Hydrogeochemistry)., 2019.
- 57) Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Курочкин Ю.Н. Современное состояние и динамика нивально-гляциальных систем массивов Монгун-Тайга и Таван-Богдо-Ола // Лед и снег. 2015. №1 (129).
- 58) Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Зелепукина Е.С., Амосов М.И., Волков И.В., Глебова А.В., Гузэль Н.И., Журавлев С.А., Прудникова Т.Н., Пряхина Г.В. Горный массив Монгун-тайга // АРТ-ЭКСПРЕСС. 2012.
- 59) Шафиев Г.В. Анализ состояния прорывоопасных озер по долине реки Гунт в Юго-Западном Памире // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции. Селевая ассоциация; Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава Грузинского технического университета. Стр. 631-638. 2018.
- 60) Шмелева И.А., Шмелев С.Э. Глобальные города: многокритериальная оценка устойчивого развития // Биосфера. 2019. Т. 11. № 1. С. 1–18.
- 61) Apfel E.T. Bunker's "Oasis", Antarctica // Bull. Geol. Soc. Amer., 1948, vol. 59(12 (pt 2)), p. 1308-1309.
- 62) Baast, P. Modern glaciers of Mongolia // Ulaanbaatar: Institute of Meteorology and Hydrology, Unpublished Report 1998. 162 pp.
- 63) Bull C. Climatological observations in ice-free areas of southern Victoria Land, Antarctica // Studies in Antarctic meteorology (Antarctic Res. Ser.) / Ed. by M.J. Rubin. Washington, D.C., Amer. Geophys. Union, 1966, vol. 9, p. 177-194
- 64) Carrivick, J.L. Hydrodynamics and geomorphological work, jökulhlaups from the Kverkfjell Volcano, Iceland // Hydrol. 21 (6), 725 - 740. 2007.
- 65) Clague J.J., Evans S.G. 1994. Formation and failure of natural dams in the Canadian Cordillera // Geological Survey of Canada, Bulletin 464, Ottawa, 35 p.
- 66) Clague J.J., Mathews W.H. The Magnitude of Jökulhlaups // Published online by Cambridge University Press: 70 January 2017.
- 67) Clarke G.K.C. Hydraulics of subglacial outburst floods: new insights from the Spring Hutter formulation // J. Glaciol., 2003, vol. 49, p. 299-313.

- 68) Dashdeleg, N. Modern glaciers of Mongolia // National Atlas of the Peoples Republic of Mongolia. Ulaanbaatar and Moscow: In Academy of Sciences of Mongolia and Academy of Sciences of USSR (eds.), 1990.
- 69) Davaa, G. Changes in hydrological systems of Mongolia // 13th International Hydrological Programme (IHP) Regional Steering Committee Meeting for Southeast Asia and Pacific, Final Report, 25 November 2005, Bali. - Jakarta: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2005.- pp. 113-122.
- 70) Delphine B., Florent O., Michaël G., Damien C., Annabelle D., Caroline L. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities // Meeting the challenge of selecting relevant variables. Ecological Indicators. 111 (2020).
- 71) Gillieson D., Burgess J., Spate A., Cochrane A. An atlas of the lakes of the Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, Antarctica // Australian National Antarctic Research Expeditions, Antarctic Division, Dept. of the Arts, Sport, the Environment, Tourism, and Territories. 1990, 74: 173 p
- 72) Helgi Björnsson. Jökulhlaups in Iceland: prediction, characteristics and simulation // Published online by Cambridge University Press: 20 January 2017.
- 73) Huggel C., Kääb A., Haeberli W., Teysseire P., Paul F. Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps // Canadian Geotechnical Journal, vol. 39, 2002, p. 316-330.
- 74) Huggel C., Haeberli W., Kääb A., Bieri D., Richardson S. Assessment procedures for glacial hazards in the Swiss Alps // Canadian Geotechnical Journal, vol. 41, No. 6, 2004, p.1068-1083.
- 75) Kadota, T., Davaa G. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia / T. Kadota, G. Davaa // A preliminary study on glaciers in Mongolia.- Ulaanbaatar: Institute of Meteorology and Hydrology, 2004.- pp. 100-102.
- 76) Kamp, U. The Glaciers of Mongolia // Occasional Paper. 2013.- 43 p.
- 77) Klinge M. Glacial-geomorphologic Investigations in the Mongolian Altai: a Contribution to the Late Quaternary Landscape and Climate History of Western Mongolia // Aachen: Aachener Geographische Arbeiten, 2001.-35: 125 p.- in German.
- 78) Krishna D. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks // Communications of the ACM, Volume 13, Number 6, June, 1970.

- 79) Liu J., Tang C., Cheng Z. The Two Main Mechanisms of Glacier Lake Outburst Flood in Tibet, China // *J. Mt. Sci.* 2013. Vol. 10(2). P. 239–248.
- 80) Matthias H., Andreas B., Mauro W., Martin F. and Regine H. Glacier-dammed lake outburst events of Gornersee, Switzerland // Published online by Cambridge University Press: 08 September 2017.
- 81) Reynolds J.M. (ed.). Development of glacial hazard and risk minimization protocol in rural environment // Report No R7816, Reynolds Geo-Sciences LTD, UK, 2003, 36 p.
- 82) Richardson S.D., Reynolds J.M. An overview of glacial hazards in the Himalayas // *Quaternary International*, 65/66, 2000, p. 31-47.
- 83) Shevnina E., Kourzeneva E., Dvornikov Y., Fedorova I. Retention time of lakes in the Larsemann Hills oasis, East Antarctica // *The Cryosphere*. 2020. DOI: 10.5194 / tc-2020-205.
- 84) Ulrich Spring, Kolumban Hutter. Numerical studies of jokulhlaups // Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, annexed to the Federal Institute of Technology, Zurich (Switzerland) (Received September 29, 1980; accepted December 30, 1980).
- 85) Visser P.J. Breach growth in sand-dikes // *Civil engineering and geoscience*. 1998. 173 p.
- 86) Wheeler R.H. The ice-free valley system of McMurdo Sound // *Antarctic*, 1960, vol. 2(8), p. 310-313.
- 87) <https://arcticgreatrivers.org/>
- 88) <http://www.cawater-info.net/>
- 89) <https://www.pangaea.de>
- 90) <https://public.wmo.int/ru/resources/bulletin/система-управления-базой-данных-мкг>.

Приложения

Приложение 1. Исходный код для поисковой системы базы данных

«PAULAS»

```
Option Compare Database
Option Explicit
Private Sub cbxSRВидРабот_AfterUpdate()
    FormRefilter
End Sub
Private Sub cbxSRГод_AfterUpdate()
    FormRefilter
End Sub
Private Sub cbxSRЛокация_AfterUpdate()
Dim sVal$
    Me!cbxSROбъект = Null
    If Me!cbxSRЛокация.ListIndex > -1 Then
        sVal = "SELECT Код, Объект FROM Объект WHERE [Код
локации] = " & Me!cbxSRЛокация & " ORDER BY Объект;"
    Else
        sVal = "SELECT Код, Объект FROM Объект ORDER BY
Объект;"
    End If
    Me!cbxSROбъект.RowSource = sVal
    FormRefilter
End Sub
Private Sub cbxSROбъект_AfterUpdate()
    FormRefilter
End Sub
Private Sub cbxSRРегион_AfterUpdate()
Dim sVal$
    Me!cbxSRЛокация = Null
    Me!cbxSROбъект = Null
    'Debug.Print Me!cbxSRРегион.ListIndex
    If Me!cbxSRРегион.ListIndex > -1 Then
        sVal = "SELECT Код, Локация FROM Локация WHERE [Код
региона] = " & Me!cbxSRРегион & " ORDER BY Локация;"
    Else
        sVal = "SELECT Код, Локация FROM Локация ORDER BY
Локация;"
    End If
    Me!cbxSRЛокация.RowSource = sVal'cbxSROбъект
    sVal = "SELECT Код, Объект FROM Объект ORDER BY Объект;"
    Me!cbxSROбъект.RowSource = sVal

    FormRefilter
End Sub
Private Sub FormRefilter()
Dim sFilter$
```

```

'01 cbxSROбъект (ГЛАВНОЕ)
    If Me!cbxSROбъект.ListIndex > -1 Then
        sFilter = sFilter & " AND ОбъектКод = " &
Me!cbxSROбъект
        GoTo FilterByOtherFilds
    End If
'02 cbxSRЛокация
    If Me!cbxSRЛокация.ListIndex > -1 Then
        sFilter = sFilter & " AND ЛокацияКод = " &
Me!cbxSRЛокация
        GoTo FilterByOtherFilds
    End If
'03 cbxSRРегион
    If Me!cbxSRРегион.ListIndex > -1 Then
        sFilter = sFilter & " AND РегионКод = " &
Me!cbxSRРегион
        GoTo FilterByOtherFilds
    End If
FilterByOtherFilds:
'cbxSRВидРабот
    If Me!cbxSRВидРабот.ListIndex > -1 Then
        sFilter = sFilter & " AND Вид_РаботКод = " &
Me!cbxSRВидРабот
    End If
'cbxSRГод
    If Me!cbxSRГод.ListIndex > -1 Then
        sFilter = sFilter & " AND Год = " & Me!cbxSRГод
    End If
'txtSRМесто
    If IsNull(Me!txtSRМесто) = False Then
        sFilter = sFilter & " AND местоположение Like '*' &
Me!txtSRМесто & '*'" '
    End If
    If Not sFilter = "" Then
        sFilter = Mid(sFilter, 6)
        Me.Filter = sFilter
        Me.FilterOn = True
    Else
        Me.Filter = ""
        Me.FilterOn = False
    End If
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
    DoCmd.Close acForm, Me.Name 'Закрытие текущей
'    DoCmd.OpenForm "...", acNormal
End Sub
Private Sub cmdFilterClear_Click()
    Me!cbxSROбъект = Null
    Me!cbxSRЛокация = Null

```

```

    Me!cbxSRРегион = Null
    Me!cbxSRВидРабот = Null
    Me!cbxSRГод = Null
    Me!txtSRМесто = Null
    FormRefilter
End Sub
Private Sub cmdMakeQuery__Click()
'Запрос!
Const qdfName$ = "Запрос измерений 02"
Const qdfNameRez$ = "Запрос измерений 03"
Dim qdf As QueryDef
Dim qdfRez As QueryDef
Dim fld As Field
Dim fldName$, lCountRecTot&, lCountNullF
Dim sFormFilter$, sFieldFilter$, sVal$
    If Me.FilterOn = False Then
        MsgBox "Фильтр не выбран!", vbExclamation
        Me!cbxSROбъект.SetFocus
        Exit Sub
    End If
    sFormFilter = Me.Filter
    lCountRecTot = DCount("*", qdfName, sFormFilter)
    'Debug.Print sFormFilter
    'Debug.Print "По фильтру формы записей:" & lCountRecTot
    Set qdf = CurrentDb.QueryDefs(qdfName)
    'sVal = qdf.SQL
    'sVal = Replace(sVal, ";", vbCrLf & "WHERE " &
sFormFilter)
    sVal = "SELECT * FROM [Запрос измерений 02] WHERE " &
sFormFilter
    'Debug.Print sVal
    OpenSQLStrAsQuery sVal, qdfNameRez
        lCountRecTot = DCount("*", qdfNameRez)
    'Debug.Print sFormFilter
    'Debug.Print "По фильтру формы записей 02 = " &
lCountRecTot
        Set qdfRez = CurrentDb.QueryDefs(qdfNameRez)
        For Each fld In qdfRez.Fields
            If Not fld.Name = "Код" Then
                fldName = "[" & fld.Name & "]"
                sFieldFilter = fldName & " Is Null"
                lCountNullF = DCount("*", qdfNameRez,
sFieldFilter)
                If lCountNullF = lCountRecTot Then
                    fld.Properties("ColumnHidden") = True
                Else
                    fld.Properties("ColumnHidden") = False
                End If
                    If Right(fld.Name, 3) = "Код" Then

```

```

        fld.Properties("ColumnHidden") = True
    End If
End If
Next fld
    DoCmd.OpenQuery qdfNameRez
    Set qdf = Nothing
    Set qdfRez = Nothing
End Sub
Private Sub OpenSQLStrAsQuery(sSQL$, Optional sQueryName$ =
"Z_TempQuery")
Dim qdf As QueryDef
Dim bQueryPresent As Boolean
For Each qdf In CurrentDb.QueryDefs
    If qdf.Name = sQueryName Then 'если запрос есть
        bQueryPresent = True 'Запрос уже есть
    End If
Next qdf
    If bQueryPresent = False Then ' создаем QueryDef
        Set qdf = CurrentDb.CreateQueryDef(sQueryName)
    Else
        If CurrentData.AllQueries(sQueryName).IsLoaded Then
            DoCmd.Close acQuery, "sQueryName"
        End If
        Set qdf = CurrentDb.QueryDefs(sQueryName)
    End If
    qdf.SQL = sSQL 'Задаём "тело" запроса
    DoCmd.OpenQuery sQueryName, acViewNormal
    Set qdf = Nothing
End Sub
Private Sub cmdOpen_Click()
Dim sVal, lVal
On Error GoTo cmdOpen_Click_Err
    lVal = Me!Код '
    sVal = "Код = " & lVal
    ' DoCmd.Close acForm, Me.Name 'Закрытие текущей
    Me.Visible = False
    DoCmd.OpenForm "Данные Измерений Карточка", , , sVal
cmdOpen_Click_End:
    On Error Resume Next
    Err.Clear
    Exit Sub
cmdOpen_Click_Err:
    MsgBox "Error " & Err.Number & " (" & Err.Description & ")
in Sub" & _
        "cmdOpen_Click - Form_Данные Измерений Список.",
vbCritical, "Произошла ошибка!"
    'Debug.Print "cmdOpen_Click_Line: " & Erl & "."
    Err.Clear
    Resume cmdOpen_Click_End

```

```
End Sub
Private Sub Detail_DblClick(Cancel As Integer)
    cmdOpen_Click
End Sub
Private Sub txtSRMecro_AfterUpdate()
    FormRefilter
End Sub
```