



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему Анализ возникновения чрезвычайных ситуаций в
Арктической зоне РФ на водных объектах и пути
ликвидации их последствий

Исполнитель Егерь Сергей Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат физико-математических наук, *соискат*
(ученая степень, ученое звание)
Саноцкая Надежда Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Иван. Гов.
Иванов И.И.
(подпись)
(ученая степень, ученое звание)
(фамилия, имя, отчество)

«06» 06 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

Введение	4
1. Раздел 1. Статистика возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера в АЗРФ на водных объектах	7
1.1. Арктическая зона Российской Федерации	7
1.2. Риски природных чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации	10
1.3. Актуальность оценки опасных природных явлений в АЗРФ	13
1.3.1. Риски геоморфологических процессов в АЗРФ	13
1.3.2. Гидрологические опасности в АЗРФ	15
1.4. Предупреждение чрезвычайных ситуаций в паводкоопасном периоде	18
1.5. Ущерб от возникновения ЧС природного характера	19
2. Раздел 2. Физико-географические особенности возникновения опасных метеорологических явлений в Арктике и морях	22
2.1. Особенности возникновения опасных метеорологических явлений в Арктике	22
2.2. Физико-географические особенности морей российской Арктики	27
2.3. Перечни и критерии опасных гидрометеорологических явлений	32
3. Раздел 3. Климатические условия Арктического региона	44
3.1. Особенности климата рассматриваемого региона	45
3.1.1. Радиационный баланс	47
3.1.2. Температура воздуха	48
3.1.3. Осадки	49
3.1.4. Снежный покров	50
4. Раздел 4. Гидрологическая характеристика региона	52
4.1. Гидрометеорологическая изученность	52
4.1.1. Режим уровней воды	52
4.1.2. Годовой ход уровня воды	52
4.1.3. Уровни воды в период открытого русла	53
4.1.4. Уровни воды зимнего периода	55

4.1.5. Критические уровни воды рек и наводнения	56
4.2. Особенности и оценки пространственно-временной изменчивости речного стока в многорукавной дельте р. Лены.....	57
4.2.1. Дельта р. Лены.....	58
4.2.2. Характеристика стока на замыкающем створе	60
4.2.3. Распределение стока воды в дельте.....	62
4.2.4. Трансформация стока наносов в дельте.....	66
4.2.5. Продольные изменения температуры воды и стока теплоты в дельте	67
5. Раздел 5. Защита и действия населения в чрезвычайных ситуациях.....	71
5.1. Защита населения и территорий при наводнениях	71
5.1.1. Общие сведения о наводнениях.....	71
5.1.2. Воздействие наводнения на население и окружающую среду	73
5.2. Специфика мероприятий по защите населения и территорий в условиях наводнений, проводимые ГОЧС заблаговременно в режиме повседневной деятельности	74
5.2.1. Правовые мероприятия.....	74
5.2.2. Организационные мероприятия.....	75
5.2.3. Инженерно-технические мероприятия	76
5.3. Мероприятия по защите населения и территорий в условиях наводнений, проводимые ГОЧС в зависимости от режимов готовности	76
5.4. Комплекс проводимых мер для предотвращения наводнений р. Лены	78
6. Заключение	79
Список литературы.....	80

Введение

Целью данной выпускной квалификационной работы является анализ возникновения чрезвычайных ситуаций в арктической зоне РФ на водных объектах и пути ликвидации их последствий.

Арктическая зона Российской Федерации – регион особых геополитических и экономических интересов государства. Освоение и рациональное использование природных ресурсов, обеспечение глобального экологического равновесия обуславливает ее выделение в самостоятельный объект государственной политики, в соответствии с международными обязательствами Российской Федерации в рамках Арктического совета, призванного осуществлять согласованную политику арктических стран в области охраны окружающей среды и устойчивого развития макрорегиона.

Согласно одному из пунктов Указа Президента Российской Федерации «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», основными направлениями государственной политики РФ в Арктике являются:

- Социальное и экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации (далее АЗРФ), а также развитие её инфраструктуры;
- Развитие науки и технологий в интересах освоения Арктики;
- Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- Обеспечение защиты населения и территорий АЗРФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Так, основными задачами в сфере обеспечения защиты населения и территорий АЗРФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера являются:

- Осуществление научно-технического, нормативно-правового и методического сопровождения деятельности по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера,

обеспечению пожарной безопасности и безопасности на водных объектах в арктических условиях;

- Развитие арктических комплексных аварийно-спасательных центров для ликвидации аварий и чрезвычайных ситуаций на водном и материковом пространстве.

В современных условиях Арктика приобретает все большую роль в глобальной политике и экономике, а сам Арктический регион становится важнейшей ареной взаимоотношений РФ с зарубежными партнерами. АЗРФ занимает треть территории страны. Здесь сосредоточено почти 80% запасов всех полезных ископаемых. Вместе с тем значительная часть АЗРФ носит очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий с низкой плотностью населения.

Арктика – важный стратегический район, который входит в зону интересов не только арктических государств, а также большинства других стран с развитой экономикой. В первую очередь их интересуют перспективы освоения нефтегазового потенциала. В связи с освоением месторождений углеводородного сырья, строительства и эксплуатации морских нефтегазовых платформ следует ожидать повышений опасности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктическом регионе.

В числе негативных факторов, воздействующих на окружающую среду при нефтедобыче, наиболее опасным является загрязнение почвы и водоемов нефтепродуктами, химическими реагентами, которые применяются в технологии нефтедобычи.

К значительному ущербу населению и экономике территорий АЗРФ могут привести чрезвычайные ситуации, вызываемые такими опасными природными явлениями как: шквальные ветры, сильные морозы, а также весенне-летние половодья, сопровождаемыми ледяными заторами на реках Арктического региона.

В данной работе рассматриваются риски возникновения чрезвычайных ситуаций в арктической зоне Республики Саха (Якутия) в устьевой области реки Лены.

Основная цель – выявить причины возникновения чрезвычайных ситуаций в устьевой области, определить комплекс защитных мер при возникновении ЧС и пути ликвидации последствий.

Якутия занимает первое место в мире по площади среди административных регионов, однако природно-климатические условия обуславливают тяжелую структуру хозяйственного освоения. Крайне важным в этой структуре является изучение реки Лены, поскольку сама река является судоходной, а в ее долине располагаются крупные городские поселения. Человек не может существовать без водных ресурсов, поэтому устойчивое развитие региона должно быть направлено на их эффективное и экологически ответственное использование, обеспечивающее гидрологическую безопасность региона.

Гидрологическая безопасность территории – обширное понятие. В данном случае она определяется степенью минимизации рисков, возникающих при взаимодействии хозяйственных интересов общества с гидрологическими системами. Чтобы минимизировать эти риски необходимо понимать их структуру, с которой связаны методы их управления. Конкретно в нашем случае мы будем рассматривать природные риски, связанные с естественными изменениями водообеспеченности и другими гидрологическими характеристиками.

1. Раздел 1. Статистика возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера в АЗРФ на водных объектах

1.1. Арктическая зона Российской Федерации

В указе Президента Российской Федерации от 02.05.2014 г. №296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» [2], утвержденных В. Путиным, под Арктической зоной Российской Федерации понимается часть Арктики, в которую входят полностью или частично территории:

- Мурманской области;
- Ненецкого автономного округа;
- Чукотского автономного округа;
- Ямало-Ненецкого автономного округа;
- Территории муниципальных образований «Беломорский муниципальный район», «Лоухский муниципальный район» и «Кемский муниципальный район» (Республика Карелия). (Дополнено - Указ Президента Российской Федерации от 27.06.2017 № 287);
- Муниципального образования городского округа «Воркута» (Республика Коми);
- Территории Абыйского улуса (района), Аллаиховского улуса (района), Анабарского национального (долгано-эвенкийского) улуса (района), Булунского улуса (района), Верхнеколымского улуса (района), Верхоянского района, Жиганского национального эвенкийского района, Момского района, Нижнеколымского района, Оленекского эвенкийского национального района, Среднеколымского улуса (района), Усть-Янского улуса (района) и Эвено-Бытантайского национального улуса (района) (Республика Саха (Якутия). (В редакции Указа Президента Российской Федерации от 13.05.2019 № 220);
- Городского округ города Норильска, Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района, Туруханского района (красноярский край);

- Территории муниципальных образований «Город Архангельск», «Мезенский муниципальный район», «Новая Земля», «Город Новодвинск», «Онежский муниципальный район», «Приморский муниципальный район», «Северодвинск» (Архангельская область);

- Земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, указанные в Постановлении Президиума Центрального Исполнительного Комитета СССР от 15 апреля 1926 г. «Об объявлении территорией Союза ССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане» и других актах СССР.

Арктика – единый физико-географический район Земли, примыкающий к Северному полюсу и включающий окраины материков Евразии и Северной Америки, почти весь Северный Ледовитый океан с островами (кроме прибрежных островов Норвегии), а также прилегающие части Атлантического и Тихого океанов. (Рис.1.)

КАРТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Северный полярный круг
- Граница Арктической зоны

СУБЪЕКТЫ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. Архангельская область | 6. Республика Коми |
| 2. Красноярский край | 7. Республика Саха (Якутия) |
| 3. Мурманская область | 8. Чукотский автономный округ |
| 4. Ненецкий автономный округ | 9. Ямало-Ненецкий автономный округ |
| 5. Республика Карелия | |



Рисунок 1. Карта Арктической Зоны

1.2. Риски природных чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации

К основным видам природных ЧС в Арктике следует отнести: абразия берегов; термоабразия; ледовая экзарация дна; литодинамические процессы и явления; мерзлотные процессы и явления, особенно опасные в прибрежных зонах; физико-химические процессы и явления, связанные с прорывами свободного газа, особенно в зонах распространения реликтовых многомерзлотных пород (ММП); геодинамические процессы и явления, наиболее опасные в зонах развития землетрясений силой 6-8 баллов и более; овражная эрозия и склоновое перемещение влагонасыщенного материала; термоденудация; термоэрозия; термокарст, газогидраты, ледовые образования.

Все большую остроту в XXI веке приобретают проблемы, являющиеся следствием глобальных изменений климата. Одним из таких следствий является заметная активизация береговых процессов и, в частности абразии берегов, обусловленных изменением ветроволноэнергетического режима и повышением уровня моря. На некоторых участках побережья морей России берега разрушаются со скоростью до 5-10 м/год. Особенно заметно потепление климата проявляется в динамике берегов арктических морей, сложенных многолетнемерзлыми грунтами. Повсеместное усиление абразионного процесса несет прямую угрозу уже построенным промышленным и гражданским объектам, находящимся на берегах. Проектирование и строительство новых сооружений и, в частности, объектов по добыче, хранению и транспортировке углеводородов требует учета динамики берегов как одного из важнейших факторов обеспечения геоэкологической безопасности. Важную роль в системе занимает деятельность человека, которая может как способствовать, так и замедлять и прекращать развитие абразионного процесса.

Термоабразия – это разрушение берега под термическим и механическим воздействием воды и атмосферы. При этом в льдистых берегах

формируются отвесные уступы (клифы) с волноприбойными нишами в основании.

Термоденудация берегов – разрушение мерзлых береговых толщ, преимущественно термическими процессами, которое сопровождается гравитационными склоновыми явлениями. Берега арктической Якутии – «чемпионы мира» по скорости разрушения. На отдельных участках они отступают на 5-15 м/год.

Термокарст (карст, явления, связанные с растворением природными водами горных пород) – процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда; просадки земной поверхности, образующиеся при протаивании льдистых мерзлых пород и вытаивании подземного льда.

Темпы овражной эрозии и склоновое перемещение влагонасыщенного материала нередко составляют первые десятки метров в год. Столь активное проявление криогенных процессов, развивающихся в льдонасыщенных толщах, часто приводит к катастрофическим последствиям. К ним, в частности, относятся деформация и разрушение построенных в береговой зоне жилых, технических и коммуникационных сооружений, а также некоторых сооружений навигационного обеспечения Северного морского пути, потеря применяемых в Арктике на гидрографических объектах радиоактивных источников питания и т. д. В пределах таких берегов нарушение тундрового покрова, даже при разовом проезде гусеничного транспорта, ведет к немедленному образованию провалов, оврагов и болот.

Общая особенность арктических морей – развитие береговой зоны в условиях наличия многолетнемерзлых пород. Береговые системы в криолитозоне обладают низкой устойчивостью, что особенно хорошо заметно в районах интенсивного ресурсного освоения, в том числе и на побережье Печорского моря. Техногенные нарушения приводят к активизации разрушительных береговых процессов, которые могут серьезно осложнить условия промышленного освоения береговой зоны, вызвать значительные

непроизводственные затраты на ликвидацию негативных последствий и восстановление нарушенных геосистем.

Деграция многомерзлотных пород может привести к деформации или даже разрушению транспортных путей, строений и других объектов инфраструктуры. В связи с ожидаемым потеплением климата наибольшее беспокойство вызывает состояние магистральных трубопроводов и транспортных магистралей. Для нефтегазовой отрасли и объектов ее инфраструктуры необходима оценка погодно-климатических рисков в экстремальных ситуациях. Уязвимость процессов добычи нефти, газа, угля, сланцев и их транспортировки связана с частотой опасных метеорологических явлений (грозы, метели, опасных осадков, скорости ветра более 20 м/с).

1.3. Актуальность оценки опасных природных явлений в АЗРФ

Арктический регион РФ насыщен производственными, энергетическими, военными и другими объектами экономики. При населении 1,7% от численности населения Российской Федерации российская Арктика производит 12% валового внутреннего продукта страны. Уже сейчас данный регион испытывает значительную экологическую нагрузку, а учитывая планы по развитию этой территории, нагрузка будет только увеличиваться, а риски, связанные с ней, будут возрастать. И дело здесь не только в выбросах и сбросах загрязняющих веществ, размещении отходов, техногенных авариях и катастрофах и других негативных воздействиях на окружающую среду. Природно-климатические условия Арктики и глобальные экологические изменения неизбежно приведут к тому, что наибольшую угрозу для хозяйственной деятельности в этом регионе, а также для безопасности объектов экономики, в том числе радиационных, будут представлять опасные природные процессы и вызванные ими природные чрезвычайные ситуации.

1.3.1. Риски геоморфологических процессов в АЗРФ

Большую роль в безопасности Арктики играют климатические изменения, способствующие возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды. Интенсивное потепление климата в Арктике происходит в 2 - 2,5 раза быстрее, чем в целом на планете, и поэтому уже в последнее десятилетие мы можем наблюдать на ее территории различные геоморфологические процессы и явления, обусловленные этими климатическими изменениями и представляющими опасность для ведения хозяйственной деятельности.

Одним из опасных природных процессов является ускоренное таяние ледников, в том числе – арктических. Так, в 2020 г. сотрудники Научного центра изучения Арктики и Московского государственного университета совершили гляциологическую экспедицию на Полярный Урал для изучения деградации ледника МГУ. В середине XX века ледник МГУ был вторым по величине и самым длинным на Урале, в 1953 г. его длина – Кратер на Ямале,

образовавшийся в 2014 г. превышала 2 километра. Ледник стал деградировать еще в 1970-е годы – он находился в так называемом каре, чашеобразном углублении, где начала скапливаться вода, а затем образовавшийся водоем стал разрушать сам ледник [3]. В последние годы на фоне глобального роста температуры этот процесс ускорился, и сейчас ледник полностью растаял. На его месте образовалось крупное озеро. Его скальные стенки не испытывают больше давление льда, из-за этого может произойти так называемая релаксация породы, и склоны могут обрушиться в озеро, что, в свою очередь, приведет к формированию цунами. Вода из озера будет вымещаться в узкую долину и распространяться вниз. Сейчас ученые пытаются рассчитать риски возникновения природных катаклизмов в этом районе.

Проблема ледниковых озер актуальна во всем мире. За последние 30 лет их площадь на планете увеличилась на 50 процентов [4]. Опасность кроется в том, что такие озера нестабильны: накапливающаяся вода разрушает их стенки, и бурные потоки смывают все на своем пути. Изучение этих процессов позволит оценить риски для возникновения опасных природных явлений, например, гляциального паводка, и необходимости ежегодного мониторинга за состоянием озера.

Также к геоморфологическим процессам, увеличившим свою интенсивность в последние годы, можно отнести просадку бугров пучения, деградацию многомерзлотных пород, приводящей к стремительной водной эрозии, росту обводненности и заозеренности территории, преобразованию котловин термокарстовых озер. Так, в Ямало-Ненецком АО (ЯНАО) идет интенсивная просадка бугров пучения. На основе натурных наблюдений удалось определить скорость просадок, составляющую 20-25 см в год [4]. Также там фиксируют значительные разрушения береговых линий рек, вызванных стремительной водной эрозией. Быстро протекающие эрозионные процессы приводят к разрушению мостов через северные реки. Сказываются также сложные инженерно-геологические условия, ошибки при проектировании и строительстве.

1.3.2. Гидрологические опасности в АЗРФ

При сохранении тренда на потепление климата Арктики будут упрощаться ледовые условия. Однако при этом возрастут риски, связанные с усилением ветро-волновой активности, с повышением уровня моря. Вследствие сложения ряда факторов усилится разрушение льдистых и рыхлых берегов. Ветроволновая абразия уже сейчас становится одним из значимых факторов разрушения берегов крупных рек, портовых сооружений, причалов и защитных сооружений, строящихся в АЗРФ.

По мере потепления климата и отступления морского льда Арктика меняется. Покрытые льдом просторы теперь имеют сезон все более открытой воды, которая, по прогнозам, распространится на весь Северный Ледовитый океан до середины этого столетия. Сильный арктический ветер (шторм) и наличие открытой воды будут способствовать возникновению арктической зыби – огромных волн, которые могут добавить в ситуацию в регионе новый и непредсказуемый элемент. Это может представлять опасность для судовых и нефтяных компаний, которые рассчитывают на работы в свободных ото льда северных водах. Статистика показывает, что почти все жертвы и потери в море являются следствием штормовых условий.

Климатообразование Арктики – сложная система, и между ее элементами есть множество положительных обратных связей. Так, отражающая способность льда в шесть раз выше, чем у чистой воды. Соответственно, чем меньше льда присутствует в океане, тем больше солнечной энергии поглощается его поверхностью. То есть, тем сильнее вода нагревается и, соответственно, больше ее испаряется. И это тоже ускоряет глобальное потепление, ведь водяной пар – тоже парниковый газ, причем, даже более активный, нежели углекислый газ.

Ранее эксперты предсказали, что Северному Ледовитому океану уготована участь стать основополагающей компонентой пополнения вод Атлантического океана. Ученые пришли к подобному выводу, когда увидели много общих очертаний в движении водных потоков вышеуказанных

водоемов. Кроме этого, вследствие таяния ледников происходит смешивание вод океанов.

Все эти процессы и явления требуют тщательного изучения и анализа. Так, в октябре 2020 г. завершилась крупнейшая в мире арктическая экспедиция MOSAiC. В ней приняли участие 300 ученых из 20 стран мира. Они провели на Северном полюсе 389 дней, преодолев 3400 километров [5]. Цель экспедиции – сбор данных об атмосфере, океане, морском льде и полярных экосистемах. Полученные в ходе проекта данные помогут усовершенствовать модели полярной атмосферы и океана, улучшить прогнозы погоды высокого разрешения в Арктике, восполнить недостающие пробелы в понимании Арктики и климатической системы.

Гидрологические изменения коснутся и рек АЗРФ. Ожидается сокращение периода ледостава на сибирских реках до 1527 суток с одновременным уменьшением максимальной толщины льда на 20-40% [6]. Ожидаются также значительные изменения в сроках и процессах замерзания и вскрытия рек и водоемов. С одной стороны, эти изменения будут способствовать заметному продлению времени речного судоходства, а с другой стороны, сократят период и возможности доставки грузов в труднодоступные районы по зимним автомобильным трассам, так называемым «зимникам», оборудованным по замерзшим руслам больших рек. Эти процессы имеют огромное значение для субъектов Российской Федерации Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, особенно для Якутии, Магаданской области и Чукотского автономного округа, где основной объем грузов доставляется по речным руслам – летом судами, а зимой – автомобильным транспортом.

Важным последствием изменений климата для арктических территорий России станут проблемы, связанные с наводнениями и паводками, которые из всех стихийных бедствий занимают первое место по суммарному среднегодовому ущербу. В связи с прогнозируемым увеличением максимальных запасов воды в снежном покрове мощность весенних паводков

может возрасти на реках Архангельской области, Республики Коми, на реках водосбора Енисея и Лены. В районах, подверженных опасности катастрофических и опасных наводнений в период весеннего половодья, где максимальные расходы усложняются заторами льда, максимальная продолжительность затопления пойменных участков может возрасти до 24 суток (в настоящее время она составляет до 12 суток) [7]. При этом максимальные расходы воды могут превышать их средние многолетние значения в два раза. В ближайшие годы ожидается повышение частоты заторных наводнений на реке Лена примерно в два раза.

Увеличение осадков и стока северных рек приведет к повышению мощности весенних паводков, создаст новые проблемы по защите населения и территорий от наводнений. Рост частоты и масштабов наводнений, в том числе катастрофических, как за счет увеличения запасов воды в снежном покрове, так и за счет обильных дождей, что может стать причиной возникновения в том числе и чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

1.4. Предупреждение чрезвычайных ситуаций в паводкоопасном периоде

В целях подготовки и обеспечения безаварийного пропуска весеннего половодья органами управления и силами РСЧС на всех уровнях в 2020 г. проводились следующие превентивные мероприятия:

- уточнялись с учетом прогноза Росгидромета перечни населенных пунктов, подверженных угрозе подтопления;
- выполнялась оценка готовности наиболее подверженных угрозе затопления муниципальных образований к безаварийному пропуску весеннего половодья;
- проверялась готовность пунктов временного размещения населения к приему пострадавшего населения;
- организовывалась работа по повышению готовности водохозяйственного комплекса к негативному воздействию паводковых вод;
- корректировался и уточнялся состав межведомственных комиссий, оперативных групп, оперативных штабов на всех уровнях РСЧС;
- определялись и создавались финансовые и материальные резервы, запасы материально-технических средств, которые могут быть задействованы в противопаводковых мероприятиях, определены места их хранения, порядок использования и доставки в район бедствия;
- информировалось и оповещалось население посредством ОКСИОН, теле и радиоканалов, печатных СМИ, СМС - рассылок, электронной почты о складывающейся обстановке;
- осуществлялся контроль за развитием гидрологической обстановки с использованием гидрологических постов Росгидромета;
- разрабатывались корректировались модели возможного подтопления населенных пунктов, а также модели развития обстановки при формировании заторов льда на реках регионов;

- уточнялись (перерабатывались) планы мероприятий по смягчению рисков и реагированию на ЧС в паводкоопасном периоде 2020 г. [8]

1.5. Ущерб от возникновения ЧС природного характера

Осуществление государственной политики в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций требует определения рациональных пропорций при выделении средств на эти цели. Очевидно, что размер выделяемых средств должен соответствовать не только численности населения на рассматриваемых территориях, но их относительной опасности для жизнедеятельности. Кроме этого, есть и абсолютные показатели опасности жизнедеятельности.

Далее приведены результаты исследований [9] чрезвычайных ситуаций на территории Арктической зоны Российской Федерации.

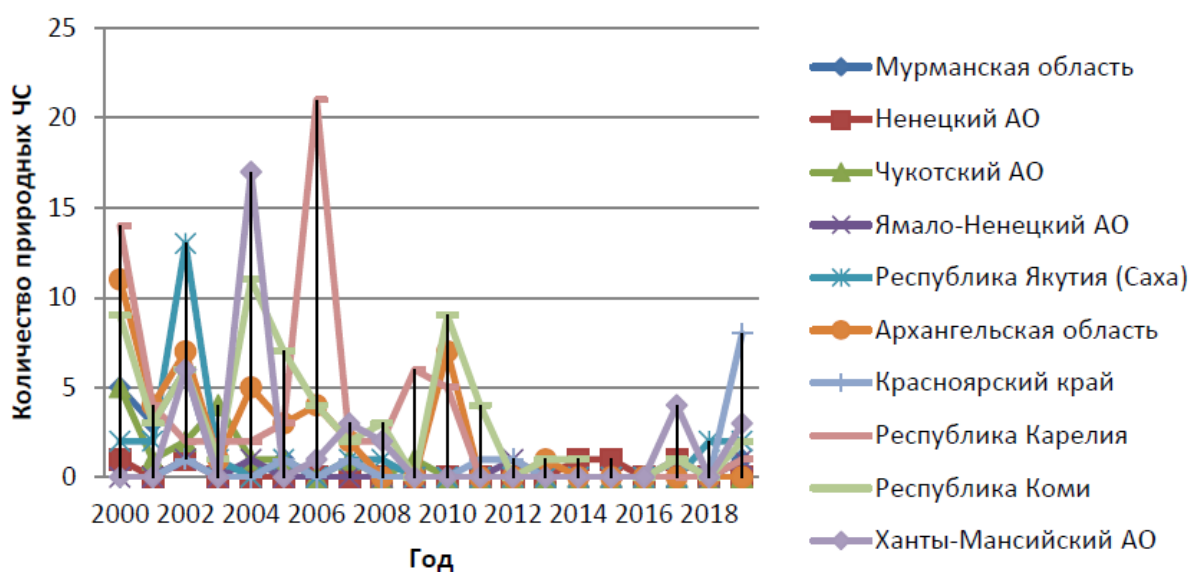


Рисунок 1. Количество природных ЧС за период с 2000 по 2019 г. в Арктической зоне Российской Федерации

Количество ЧС природного характера на исследуемой территории изменялась в широком диапазоне в ряде случаев от 0 до 21 в одном из субъектов. Максимум природных ЧС за исследуемый временной интервал пришёлся на два периода: 2003-2006 гг. и на 2010–2012 гг., минимум пришёлся на период с 2013 по 2017 г.

Субъект РФ	Число пострадавших, человек		
	среднее число	максимальное число	суммарное число
Мурманская область	13	44	249
Ненецкий АО	29	497	551
Чукотский АО	5	46	100
Ямало-Ненецкий АО	38	415	731
Республика Якутия (Саха)	3	22	64
Архангельская область	19	180	366
Красноярский край	2	9	49
Республика Карелия	40	604	760
Республика Коми	43	154	780
Ханты-Мансийский АО	93	1 142	1 775

Таблица 1. Число пострадавших от ЧС природного и техногенного характера на территории субъектов, относящихся к Арктической зоне Российской Федерации за период с 2000 по 2019 г.

Среднее число пострадавших за период с 2000 по 2019 г. изменялось от 3 до 93 человек, максимальное число пострадавших изменялось от 9 до 1 142 человек. Такая разница в диапазоне пострадавших находит отражение в численности населения конкретного региона – чем больше численность проживающих, тем выше потери. Итого, за период с 2000 по 2019 г. количество пострадавших от природных и техногенных ЧС в Арктической зоне Российской Федерации составило 5 452 человека.

Таким образом, основным источником возникновения ЧС природного характера в АЗРФ на водных объектах является изменение климата, а именно повышение мировой температуры, что способствует таянию ледников и повышению уровня мирового океана, вследствие чего можно наблюдать более длительные периоды половодья.

На настоящий момент основными нерешенными вопросами, усугубляющими риски опасных природных явлений в АЗРФ остаются такие проблемы, как отсутствие системы экстренной эвакуации, низкий уровень развития информационно-коммуникационной инфраструктуры, недостаточная проработка инженерно-технических решений, обеспечивающих устойчивое функционирование инфраструктуры в условиях климатических изменений.

2. Раздел 2. Физико-географические особенности возникновения опасных метеорологических явлений в Арктике и морях

2.1. Особенности возникновения опасных метеорологических явлений в Арктике

В течение последних десятилетий согласно международным данным метеорологических наблюдений и многим публикациям о климате Земли, происходит глобальное потепление. В частности, восемь из девяти первых полных лет XXI в. Были рекордно тёплыми. Эти данные косвенно свидетельствуют о физико-географических особенностях формирования погоды и климата в разных географических районах северного и южного полушарий

Климату Арктики всегда была присуща интенсивная естественная изменчивость, что в свою очередь проявлялось в физико-географических особенностях формирования характера погоды и ледовых условий в Северном Ледовитом океане.

В ААНИИ разработан и функционирует в оперативном режиме программно - аппаратный комплекс по сбору, обработке, усвоению, систематизации и представлению метеорологической информации в целях научно-оперативного обеспечения работ в районе Арктики. Результаты мониторинга атмосферных процессов и метеорологических условий полярного района Арктики представлены на основе информационных ресурсов для анализа атмосферных процессов и метеорологических условий:

- базы данных восьмисрочных наблюдений атмосферного давления, температуры воздуха, направления и скорости ветра по сети станций ВМО северного полушария (с 1891 г. и Арктики с 1935 г.);
- ежедневные синоптические карты Северного полушария (приземные и высотные H850, H500)
- среднемесячные и декадные карты давления, температуры воздуха и геопотенциала 500 гПа;

- средние карты приземного давления, температуры воздуха и H500 по естественным стадиям развития: по элементарным синоптическим процессам (ЭСП), однородным циркуляционным периодам (ОЦП) и однородным внутригодовым периодам (ОВП);
- гидрологические данные по полярным районам Арктики и умеренной зоне северного полушария;
- многолетние каталоги крупномасштабных атмосферных процессов на Северном полушарии по классификации Г. Я. Вангенгейма – А.А. Гирса. Основные элементы макроструктуры общей циркуляции атмосферы (ОЦА) в Арктике:
 - планетарный циркумполярный вихрь;
 - планетарные высотные фронтальные зоны;
 - длинные термобарические волны в толще тропосферы (волны Россби);
 - стационарные циклоны и антициклоны;
 - фронтальные циклоны и антициклоны;

Они позволяют в совокупности отразить характер зонального, меридионального и вертикального воздухообмена различного пространственно-временного масштаба, что в свою очередь, является одним из главных критериев оценки развития и перестройки атмосферных процессов и влияние их на погоду и климат.

Наиболее важной чертой перестройки атмосферных процессов в Арктике явилось ослабление континентального антициклона над Евразией и влияния его блокирующего гребня на район Арктики (Рис. 1). Вследствие этого циклоны в системе исландского минимума смещались южнее.

При преобладающих направлениях воздушных потоков с южной составляющей в среднем в полярном районе сформировались устойчивые положительные аномалий температуры воздуха (Рис. 2). Наиболее крупные

среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха отмечались в восточном секторе полярного района Арктики.

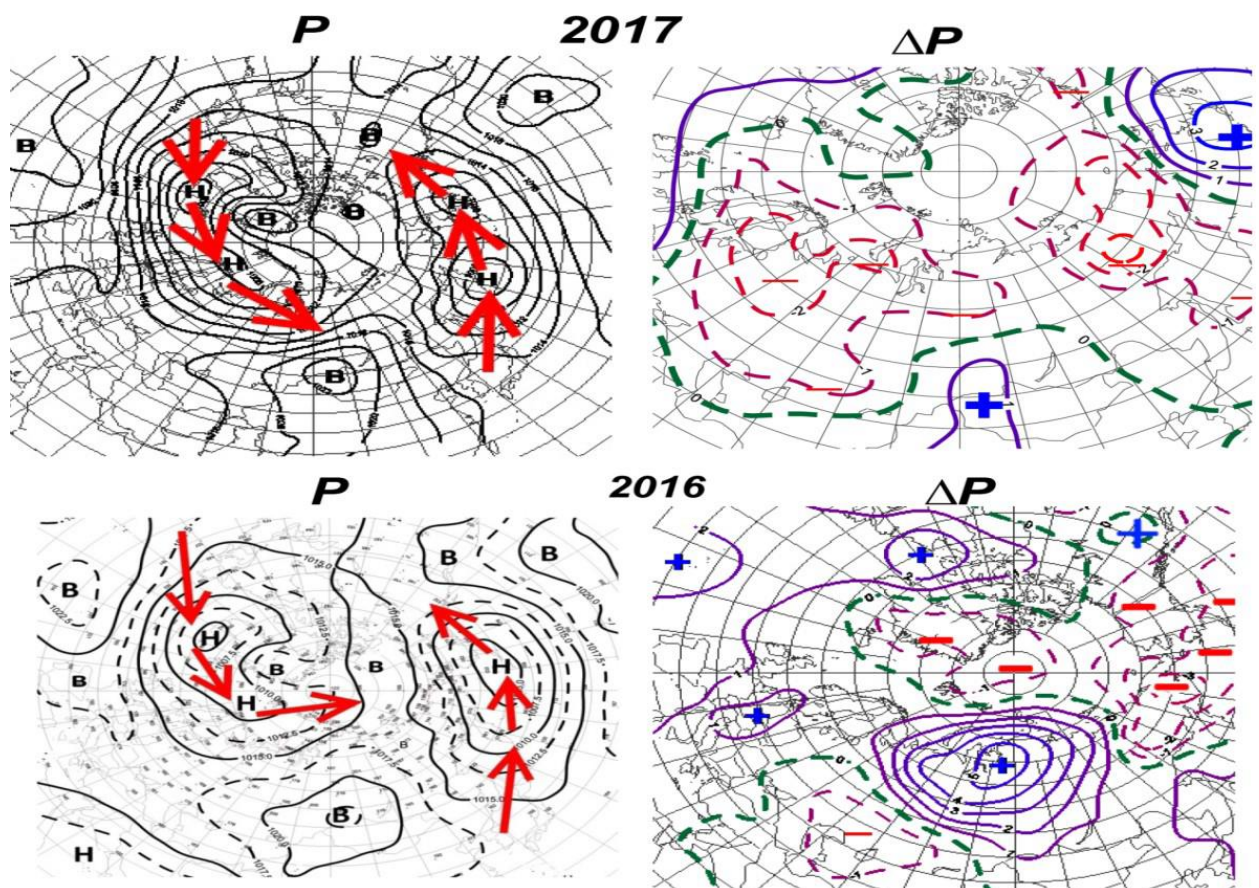


Рисунок 1. Поля среднего приземного давления (P) и аномалии давления (ΔP) за период январь-декабрь 2017 г. и 2016 г. [10]



Рисунок 2. Годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в широтном поясе 70-85° с.ш.

Результаты мониторинга атмосферных процессов в Арктике и характер их проявления в метеорологических условиях Арктики позволяют сделать следующие выводы о том, что:

- экстремально высокий температурный фон с положительными аномалиями температуры в Северной полярной области, характерный для текущей циркуляционной эпохи (1996-2016 гг.), в 2017 г. сохранился в дальнейшем.
- в среднем по полярному району положительная аномалия температуры воздуха в 2017 г. составила 3,2 °С, что ниже экстремального значения (4,9°С), ранее наблюдавшегося в 2016 г.
- более крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха в 2017 г. отмечались в восточном секторе полярного района Арктики. Этот район внес наибольший вклад в формирование высокого температурного фона полярного района.
- Резкое понижение температурного фона полярного района Арктики при сохранении положительных аномалий температуры воздуха в 2017 г. во многом было сопряжено с более частыми, чем в 2016 г., низкоширотными траекториями циклонов в системе исландского минимума.

Общая площадь дрейфующих льдов в Северном Ледовитом океане в конце декабря 2017 г. составила 10,94 млн. км², при норме 11,57 млн. км², т.е. была на 5,5 % меньше среднееголетних значений. Аномалии толщины льда по данным в середине мая 2017 г. (Рис. 3).

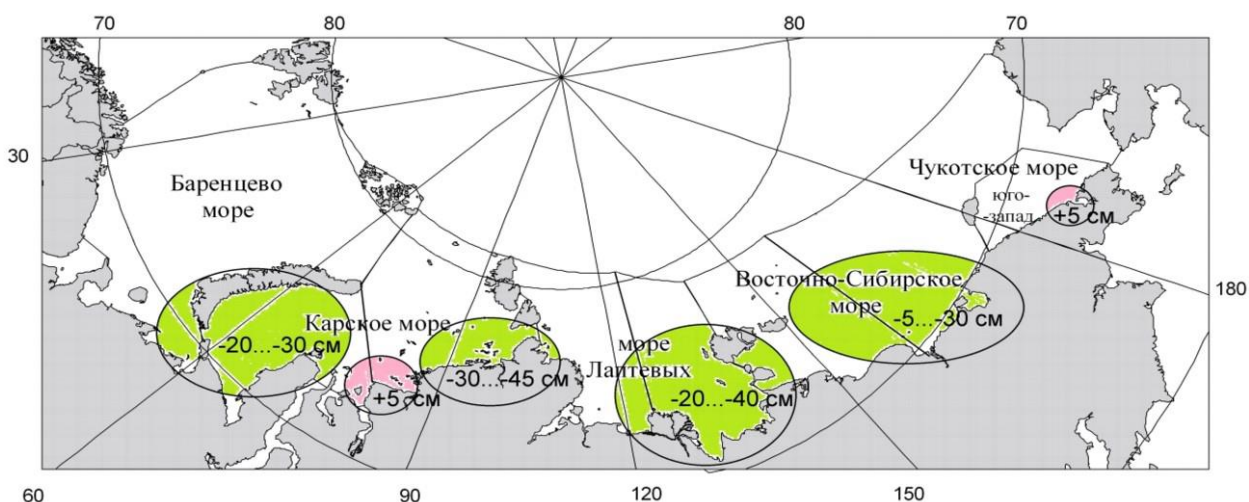


Рисунок 3. Аномалии толщины льда в арктических морях

Во всех морях наблюдались отрицательные аномалии толщины льда (-5 -40 см). Наибольшие аномалии отмечались в Карском море, нет данных по Чукотскому морю ввиду отсутствия данных наблюдений.

2.2. Физико-географические особенности морей российской Арктики

- все они принадлежат Северному Ледовитому океану и расположены за северным полярным кругом;
- южные части морей ограничены побережьем Евразийского материка;
- северные границы морей центральный бассейн Северного Ледовитого океана;
- границы арктических морей между собой, главным образом проходят по архипелагам и островам, а также по дополнительным условным линиям;
- почти полностью все арктические моря России находятся в зоне Арктического шельфа. Физико-географические особенности морей Арктической зоны России формируют особый режим погоды и опасных явлений погоды в течении всего года:
- температура воздуха и вод в арктических морях неодинакова, что обусловлено целым рядом географическими особенностями этих морей и влиянием местных факторов;

- в западной и восточной части расположены наиболее теплые моря;
- в центральной части находятся моря с более низкой температурой (из которых самое холодное Восточно-Сибирское). Развитие барического поля в Арктике и его влияние на режим погоды арктических морей обуславливается их физико-географическим положением:
- моря Северного Ледовитого океана находятся под влиянием Полярного и Сибирского максимумов, а также Ирландского и Алеутского минимумов;
- данное воздействие обуславливает муссонный тип циркуляции и передвижения воздушных масс над пространством морей;
- зимой в западной и восточной части Арктической зоны России над морями наблюдается значительное количество циклонов;
- эти циклоны, проникают в высокие широты с Атлантического и Тихого океанов и их появление в Арктике сопровождается быстрым изменением погоды и мощными штормовыми ветрами;
- в морях, расположенных в центральной части российских морей, доминирует антициклон, для которого характерна ясная погода с незначительным ветром;
- в летний период климатические особенности разных морей сглаживаются и это связано с уменьшением динамики атмосферных циркуляций в Северном Ледовитом океане;
- летние циклоны, по сравнению с зимними, не столь глубоки и обширны, по сравнению с зимними циклонами, и в этот период года на территории арктических морей наблюдается полярный день, в продолжение которого поступает большое количество солнечной энергии;
- в целом климат морей Северного Ледовитого океана достаточно суров и летом, и зимой и формирует особый режим опасных условий погоды в Арктике.

Возникновение опасных метеорологических явлений на суше и на море, в том числе в Арктике, отличается большим разнообразием. Динамика проявления опасных явлений, в разное время года, с той или иной повторяемостью или так называемой вероятностью возникновения, при разных синоптических условиях обусловлено целым рядом особенностей физико-географического характера. По данным Росгидромета опасные метеорологические явления за 1996–2016 гг., относящиеся лишь к опасным явлениям и комплексам гидрометеорологических явлений, которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения, свидетельствуют, что их число значительно, но большая часть этих явлений были заблаговременно спрогнозированы структурами Росгидромета [11].

Критерии опасных явлений погоды — качественные характеристики опасных явлений, либо значения гидрометеорологических величин, при достижении которых гидрометеорологическое явление считается опасным. Критерии опасных явлений устанавливаются либо по вероятности возникновения явлений, либо «директивно» с учетом результатов анализа данных гидрометеорологических наблюдений за многолетний период. Районирование российской Арктики по опасным явлениям [12] предложенное в ААНИИ позволяет помимо всего прочего оценить территориально морские зоны возникновения опасных морских условий.

В национальном атласе России и Арктики [13] описываются физико-географические условия территорий и морей и об ОЯ погоды можно судить по косвенным признакам. например, через повторяемость атмосферных фронтов (Рис. 4).

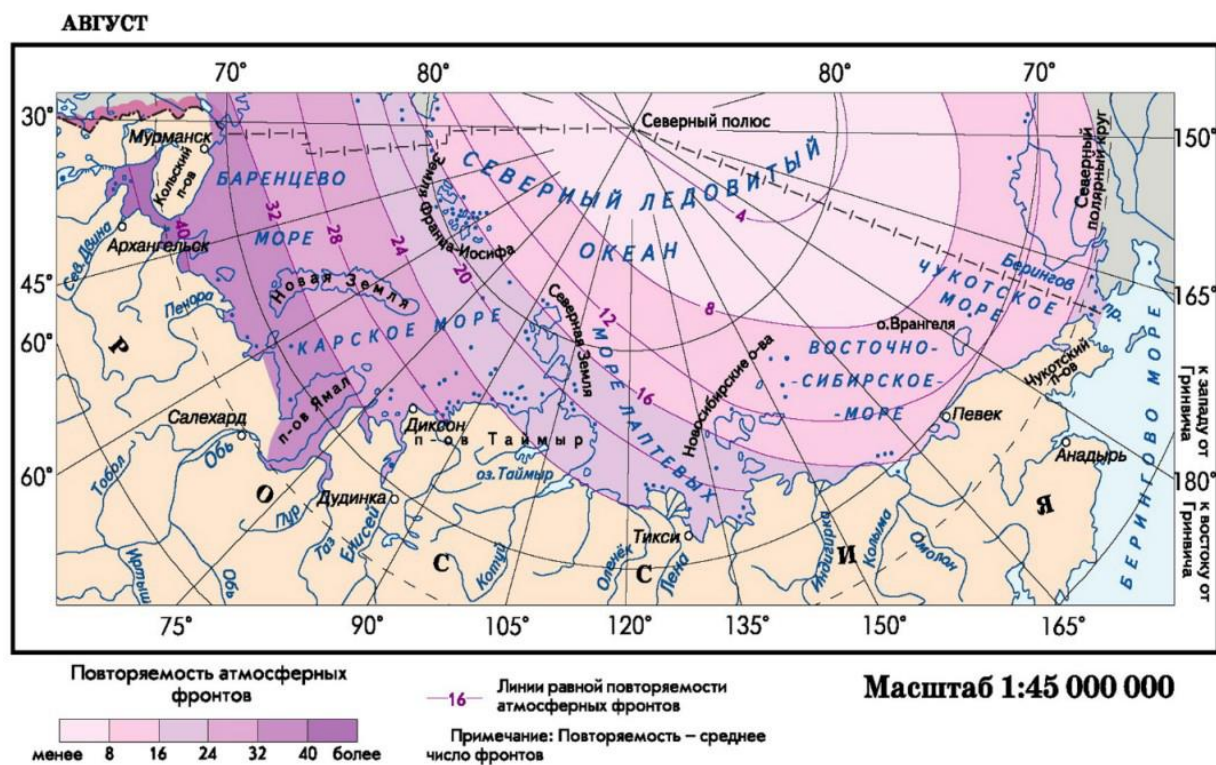


Рисунок 4. Повторяемость атмосферных фронтов

Перечни и критерии опасных природных (гидрометеорологических) явлений по северному управлению Росгидромета показывает на сложности их классификации в территориальном плане, поскольку нет ясности в особенностях формирования погоды в регионе в разных синоптических условиях (рис. 5):



Рисунок 5. Погода в регионах Северного управления Росгидромета

- по территории Архангельской области, акватории Белого и юго-востока Баренцева морей;
- по территории Ненецкого автономного округа;
- по территории Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа, акватории юго-западной части Карского моря, Обской и Тазовской губ;
- по территории северной части Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края, акватории Карского моря, запада моря Лаптевых, Енисейского и Хатангского заливов;
- по территории Вологодской области;
- по территории Республики Коми.

2.3. Перечни и критерии опасных гидрометеорологических явлений

Региональные перечни и критерии опасных явлений разработаны в соответствии с приказом ФГБУ «Северное УГМС» от 30.04.2014 № 244, согласованы с правительствами и территориальными управлениями МЧС субъектов РФ и утверждены «Инструкциями действий дежурной смены при угрозе возникновения и/или возникновении опасных природных явлений».

Опасное природное явление (ОЯ) – гидрометеорологическое или гелиогеофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб (Федеральный закон от 19 июля 1998 года № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе»). Гидрометеорологические явления и величины (наблюдаемые или измеряемые) относятся к гидрометеорологическим ОЯ при достижении ими соответствующих значений (критерии ОЯ). К гидрометеорологическим ОЯ также относится сочетание двух и более одновременно наблюдавшихся гидрометеорологических явлений, каждое из которых по интенсивности не достигает критериев ОЯ, но близко к ним.

Экстренная информация – незамедлительно передаваемые штормовые предупреждения и (или) штормовые оповещения, а также незамедлительно передаваемая информация о фактических и прогнозируемых резких изменениях погоды и загрязнении окружающей среды, которые могут угрожать жизни или здоровью граждан и наносить ущерб окружающей среде (Федеральный закон от 19 июля 1998 года № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе»). Выпуск экстренной информации осуществляют только федеральный орган исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях и его территориальные органы (Федеральный закон от 19 июля 1998 года № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе»).

Перечень и критерии опасных гидрометеорологических явлений по территории Якутии (Республика Саха) отражены в таблице 1.

Таблица 1. ПЕРЕЧЕНЬ И КРИТЕРИИ

опасных гидрометеорологических и комплексов неблагоприятных метеорологических явлений, которые могут нанести ущерб экономике и населению Республики Саха (Якутия) [14]

1. Метеорологические

№ п/п	Явления	Критерии опасного явления	Продолжительность	Территория распространения явления	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	Очень сильный ветер	Средняя скорость ветра не менее 20м/с или максимальная скорость ветра (порыв) не менее 25 м/с; Средняя скорость ветра не менее 30м/с или максимальная скорость ветра (порыв) не менее 35 м/с	Любая	На одной станции и более территории центральных или западных или северо-восточных районов На одной станции и более территории арктических районов	
2	Шквал	Максимальная скорость ветра (порыв) 25 м/с и более	В течение нескольких минут, но не менее 1 мин.	На одной станции и более обслуживаемой территории	

3	Сильный ливень	Количество жидких осадков не менее 30 мм	За период не более 1 часа	На одной станции и более обслуживаемой территории	Фиксируется при наличии плувиографа или автоматического датчика жидких осадков
4	Очень сильный дождь (дождь, ливневой дождь, мокрый снег, дождь со снегом)	Количество осадков не менее 50 мм	За период не более 12 часов	На одной станции и более обслуживаемой территории	
5	Очень сильный снег (снег, ливневой снег, др)	Количество осадков не менее 20 мм	За период не более 12 часов	На одной станции и более обслуживаемой территории	
6	Продолжительный сильный дождь	Количество осадков не менее 100 мм	Более 12 часов, но менее 48 часов	На одной станции и более обслуживаемой территории	Дождь почти непрерывный (с перерывами не более 1 часа)
7	Крупный град	Диаметр 20 мм и более	Любая	На одной станции и более обслуживаемой территории	
8	Сильная метель	Общая или низовая метель при средней скорости ветра • не менее 15 м/с и видимости не более 500 м	Не менее 12 часов	Одна треть и более территории центральных или западных или северо-восточных районов	

		• не менее 20 м/с и видимости не более 500 м		Одна треть и более территории арктических районов	
9	Сильный туман (сильная мгла)	Видимость не более 50 м	Не менее 12 часов	Одна треть и более территории центральных или западных или северо-восточных районов На одной треть акватории моря Лаптевых или Восточно-Сибирского моря	Навигационный период
10	Сильное ГИО	Диаметр в мм, не менее • мокрый снег, сложное отложение – 35 • изморозь – 50 • гололед - 20	Не менее 12 часов	Одна треть и более территории центральных или западных или северо-восточных районов	Станции, на которых программой не предусмотрены инструментальные наблюдения за ГИО не подают
11	Сильный мороз *	Минимальная температура воздуха: • -56° и ниже • -60° и ниже	Не менее 5 суток Не менее 5 суток	Одна треть и более территории центральных или западных или арктических районов Одна треть и более северо-восточных районов	В период с ноября по март

12	Сильная жара	Максимальная температура воздуха +30°	Не менее 5 суток	Одна треть и более территории оленеводческих районов	В период с мая по август
13	Аномально-холодная погода	Средняя суточная температура воздуха на 7°С и более ниже климатической нормы	В течение 5 суток и более	г.Якутск	В период с октября по март
1	2	3	4	5	6
14	Аномально-жаркая погода	Средняя суточная температура воздуха на 7°С и более выше климатической нормы	В течение 5 суток и более	г.Якутск	В период с апреля по сентябрь
15	Чрезвычайная пожарная опасность	Показатель пожарной опасности более 10000°С (по формуле Нестерова)	Любая	Одна треть и более территории лесной зоны	

* Для **Оленекского района** сильный мороз при минимальной температуре воздуха -60°С и ниже; для **Среднеколымского** и **Верхнеколымского** районов -56°С и ниже.

2. Гидрологические

№ п/п	Явления	Критерии		Водный объект, пункт	Примечание
		ОЯ			
		см над «0» поста	м БС над «0» поста		
1	2	3	4	5	6
1	Опасное природное явление – половодье, дождевые паводки, затор, зажор, вызывающие подтопления населенных пунктов, автодорог или повреждения промышленных и транспортных объектов в см над «0» поста.	950 1200 1410 1300 1290 1060 1370 970 827 950 1150 1430 3150 820 1470 1300 1515 925	185.01 183.30 166.57 160.21 151.80 133.32 102.61 94.57 93.47 84.95 68.56 42.41 30.09 280.66 167.15 163.70 154.30 143.36	р. Лена - п. Витим р. Лена - п. Пеледуй р. Лена - г. Ленск р. Лена - с. Нюя р. Лена - с. Мача р. Лена - г. Олекмиск р. Лена - г. Покровск р. Лена - п. Табага р. Лена - г. Якутск р. Лена - с. Намцы р. Лена - п. Сангар р. Лена - п. Жиганск р. Лена - с. Кюсюр р.Алдан – г Томмот р.Алдан – п. Усть-Миль р.Алдан – п. Усть-Мая р.Алдан – п. Эльдикан р. Амга - с. Амга	

		1170	15.15	р. Анабар – с. Саскылах	
		1350	113.22	р. Оленек – с. Оленек	
		1020	134.98	р. Яна – г. Верхоянск	
		970	127.67	р. Яна – п. Батагай	
		500	5.00 усл.	р. Яна - р.п. Нижнеянск	
		650	488.51	р. Индигирка – п. Усть-	
		600	191.55	Нера	
		770	36.86	р. Индигирка – с. Усть-	
		1200	17.97	Мома	
		1010	10.10 усл.	р. Колыма – п. Зырянка	
		600	4.89	р. Колыма - г.	
				Среднеколымск	
				р. Колыма – с. Колымское	
				р. Колыма – р.п. Черский	

				р. Колыма – г. Среднеколымск	
№ п/п	Явления	Дата		Водный объект, пункт	
		Появление плавающего льда	Образование ледостава		
3	Раннее образование ледостава и появление льда на судоходных реках (повторяемость не чаще 1 раз в 10 лет)	10.10 - 11.10 08.10 06.10 04.10 25.09	04.11 02.11 03.11 25.10 28.10 26.10 02.10	р. Лена - п. Витим р. Лена - г. Ленск р. Лена – г. Олекминск р. Лена – г. Якутск р. Лена – п. Сангар р. Лена - п. Жиганск р. Яна - г. Верхоянск	

5. Морские гидрометеорологические (навигационный период)

№ п/п	Явления	Критерии опасного явления	Продолжительность	Территория распространения явления	Примечание
1	2	3	4	5	6
5.1	Сильное волнение	Высота волн в прибрежных районах не менее 4 м, в открытом море не менее 6 м	Любая	Прибрежные районы морей Лаптевых и Восточно-Сибирского	
5.2	Обледенение судов	Быстрое и очень быстрое обледенение судов (не менее 0,7 см/ч).	Любая		

5.3	Сгонно-нагонные явления	Уровни воды ниже опасных отметок, при которых прекращается судоходство, гибнет рыба, повреждаются суда, или выше опасных отметок, при которых затопляются населенные пункты, береговые сооружения и объекты;	Любая	Главный причал порта Тикси 3 м.	Не определена нижняя отметка – нет необходимости, из-за отсутствия больших судов.
5.4	Раннее появление льда	Появление ледового покрова или припая в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет	Любая	Ледообразование в районе судоходных трасс: Тикси - Яна – раньше 24.09; Тикси – Индигирка – Колыма – раньше 18.09; бухта Тикси – раньше 26.09. Становление припая в бухте Тикси – раньше 5.10.	
5.5	Сжатие льда	Сжатие интенсивностью 3 балла	Любая	Судоходные трассы, бухта. Тикси	

Гидрометеорологические явления и величины (наблюдаемые или измеряемые) относятся к ОЯ при достижении ими соответствующих критических значений (критериев). Ежегодно ЦГМС-Р (ГМЦ) составляют «Список наблюдательных подразделений, подающих штормовые сообщения», утверждаемый руководителем УГМС. В этот список включают также ведомственные станции и посты, привлеченные к подаче штормовых сообщений об ОЯ. Для наблюдательных подразделений, включенных в список, указывают адреса подачи штормовых сообщений, порядок и средства передачи сообщений. Перечень и критерии ОЯ, а также адреса подачи штормовых сообщений доводятся до сведения каждого сетевого наблюдательного подразделения. По решению УГМС в перечень могут быть дополнительно включены неблагоприятные гидрометеорологические явления.

3. Раздел 3. Климатические условия Арктического региона

Северные регионы Земли играют значительную роль в процессах, воздействующих на окружающую среду в глобальном масштабе, и служат индикаторами глобальных природных изменений, в особенности изменения климата. Наблюдаемые изменения в Арктике, такие как повышение температуры воздуха, сокращение ледяного покрова, увеличение стока рек и деградация многолетней мерзлоты, уже показывают, что на территории Арктики происходят самые большие изменения по сравнению с другими регионами Земли [15].

Высокие широты Арктики являются уникальным регионом в части формирования температурного режима. Первая особенность – климат Арктики формируется в условиях значительно меньшего притока тепла от Солнца, чем климат неполярных областей. На Земле севернее 70° географической широты солнце несколько месяцев не появляется (полярная ночь) и несколько месяцев не уходит за горизонт (полярный день). Большая отражательная способность снега и льда, а также преимущественно низкая высота солнца над горизонтом не позволяют сформировать тот температурный фон, который наблюдается в Арктике. Тепло арктического региона в значительной мере определяется количеством адвективного тепла, принесённого океаническими течениями и воздушными потоками из низких географических широт. Количество адвективного тепла в Арктике зависит от глобальных океанических и атмосферных циркуляционных процессов. Вторая особенность Арктики – это район с климатом, наиболее чувствительным к изменениям количества так называемых парниковых газов в атмосфере (водяной пар, углекислый газ, метан и др.) и количества облачности. Радиационный баланс в высоких широтах преимущественно отрицательный, а температурный режим определяется там, в основном, способностью атмосферы препятствовать тепловому излучению в космос пришедшего адвективного тепла. В средних и низких широтах иначе, там температурный режим определяется в основном количеством приходящей к поверхности

земли солнечной радиации и мало зависит от парникового эффекта. При антропогенном увеличении парниковых газов в атмосфере эта особенность Арктики имеет особое значение. Третья особенность – вблизи географического полюса находится геомагнитный полюс, который создает в высоких широтах наиболее благоприятные условия для вторжения в атмосферу заряженных солнечных и космических частиц. Интенсивность потоков этих частиц зависит от переменной солнечной активности. Существует множество публикаций за последние несколько десятилетий, подтверждающих связь изменений погоды и климата с переменными потоками частиц при изменении солнечной активности, но механизм такой связи не объяснён.

3.1. Особенности климата рассматриваемого региона

Климат рассматриваемой территории характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется очень низкими зимними (-50 , -60 °C) и высокими летними ($20 - 35$ °C) температурами воздуха. Резкость температур самого холодного и самого теплого месяцев достигает мирового максимума и равна $45-65$ °C. Наибольшие величины этих разностей свойственны долинам и котловинам, а расположение их по территории позволяет сделать вывод о возрастании континентальности с запада на восток. На морских побережьях климат мягче, так как моря несколько обогревают берега осенью и зимой и, наоборот, охлаждают в теплое время года [16].

Главными факторами, определяющими такое своеобразие климата, являются характер общей циркуляции воздушных масс и физико-географические условия территории – ее удаленность и отгороженность горными системами от Атлантического и Тихого океанов, открытость со стороны Северного Ледовитого океана, большая протяженность с севера на юг, так и с запада на восток, сложность орографии.

В зимней период территорию охватывает мощный сибирский антициклон, начинающий образовываться в сентябре. В антициклоне происходит формирование континентального, очень холодного воздуха.

Ясная сухая погода способствует охлаждению земной поверхности и нижних слоев воздуха. Дальнейшему развитию антициклона, достигающего своего максимума в январе-феврале, способствуют вторжения арктических воздушных масс.

Особенно сильное радиационное выхолаживание происходит в долинах и котловинах, куда стекает холодный воздух и где зимние температуры достигают исключительно низких значений. В холодное время года сильно развиты инверсии – повышения температуры воздуха с высотой, особенно мощные в горных районах.

При сильных морозах и затишье часто образуются морозные туманы.

При резко выраженном антициклональном режиме погоды зимой преобладает затишье, но на побережье наблюдается также и циклоническая деятельность, сопровождающаяся сильными ветрами и метелями.

Зима на большей части территории малоснежная. В зоне тундры снежный покров залегает неравномерно из-за сдувания его сильными ветрами. Незначительный снежный покров и исключительно низкие зимние температуры способствуют широкому распространению многолетней мерзлоты, достигающей большой мощности.

Лето хотя и короткое, но теплое, а иногда и жаркое, однако ночи обычно прохладные и почти по всей территории вероятны заморозки во все летние месяцы. На побережье и островах лето пасмурное и холодное, часто возникают туманы, число которых уменьшается по мере удаления от побережья. Во второй половине лета туманы образуются в долинах рек.

Переходные сезоны года кратковременны и характеризуются большими суточными амплитудами температур.

Продолжительность вегетационного периода возрастает с севера на юг. Осенью вторжение арктических воздушных масс обуславливает ранние заморозки, вначале редкие и слабые при довольно высокой температуре днем.

Арктические воздушные массы с малым влагосодержанием свободно проникают из Центральной Арктики в любое время года. Северо-

атлантические теплые воздушные массы поступают сильно иссушенными, но с большим влагосодержанием, чем арктические массы, и обычно приносят циклоническую погоду, сопровождающуюся на севере сильными ветрами и продолжительными метелями.

Влажные и теплые тихоокеанские воздушные массы лишь изредка вторгаются в восточные и центральные районы, вызывая потепления со снегопадом зимой и дождливую погоду летом. Проникновению этих масс препятствуют горные хребты, протянувшиеся вдоль восточной границы территории.

В общем на рассматриваемой территории во все времена года господствует западный перенос воздушных масс, особенно интенсивный в теплую часть года, когда теплые и влажные воздушные массы поступают с юго-запада.

3.1.1. Радиационный баланс

Радиационный баланс значительно изменяется по территории. Среднегодовые его величины в общем увеличиваются с севера на юг. Так, например, на побережье арктических морей радиационный баланс составляет 14 ккал/см^2 , в центральных районах Якутии – 29 ккал/см^2 .

На большей части территории, начиная с октября, радиационный баланс имеет отрицательные значения, и только в центральных районах Якутии и юго-западной части территории он в этом месяце еще положительный. Наибольшие отрицательные величины баланса наблюдаются в ноябре-декабре. В это время его изменение по территории происходит в небольших пределах ($-0,5$ - $-2,2 \text{ ккал/см}^2$).

Продолжительность периода с отрицательным балансом составляет 6-9 месяцев. Переход радиационного баланса от отрицательного к положительному происходит в марте-апреле. Наибольшие значения баланса наблюдаются в основном в июне и по территории изменяются в пределах 7 - 9 ккал/см^2 .

3.1.2. Температура воздуха

Средняя годовая температура воздуха по ст. Якутск составляет $-9,7^{\circ}\text{C}$. Наиболее холодным месяцем в году является январь со среднемесячной температурой воздуха $-41,4^{\circ}\text{C}$. Средняя месячная температура июля, самого теплого месяца, составляет $+19,3^{\circ}\text{C}$. Самая низкая температура воздуха $-64,4^{\circ}\text{C}$ отмечалась в 1891 г., а самая высокая $+38,4^{\circ}\text{C}$ в 2011 г. Согласно принятой в нашей стране схеме медико-географического районирования Якутск относится к дискомфортной зоне, в которой только 40-50% дней в году имеют благоприятную для жизни человека погоду.

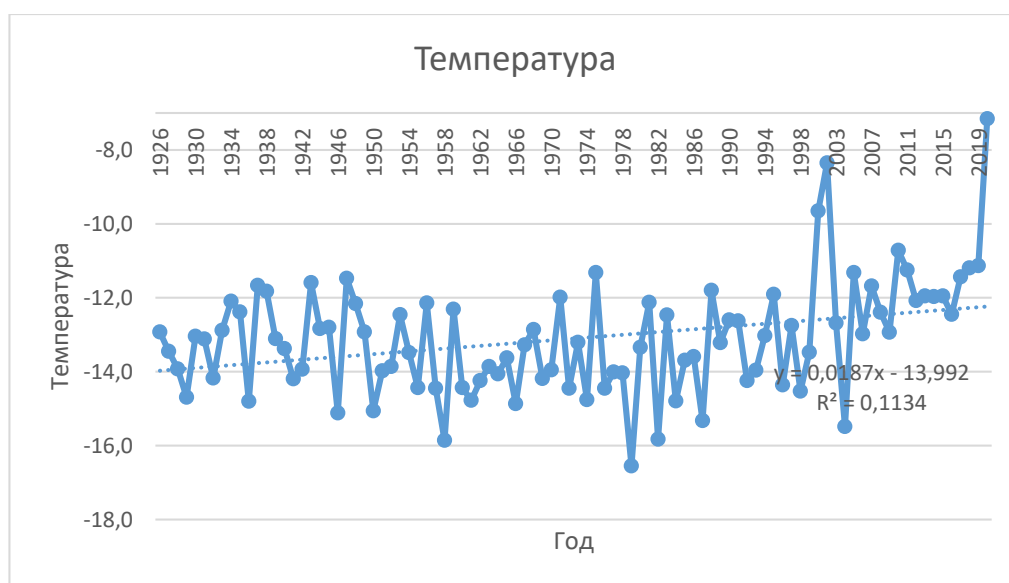


Рисунок 6. Среднегодовые значения температуры воздуха с.Кюсюр

Резко-континентальный климат обуславливает большие годовые амплитуды температур. Разности температур самого теплого и самого холодного месяцев во внутренних частях Якутии достигают наибольших в мире значений: амплитуда средней месячной температуры воздуха $55-64^{\circ}\text{C}$, амплитуда абсолютного минимума и абсолютного максимума более 100°C . На берегах морей и островах амплитуда температур значительно меньше. Продолжительность безморозного периода (со средней суточной температурой воздуха выше 0°C) благодаря большой протяженности территории и сложности рельефа очень разнообразна. Самый длинный безморозный период (95-100 дней) наблюдается в долине среднего течения р. Лена. В тундре и лесотундре безморозный период едва достигает 2 месяцев, а

зачастую вовсе отсутствует, т.е. заморозки могут наблюдаться в течение всего лета. В отдельные годы при вторжении холодных масс воздуха с севера адвективно-радиационные заморозки возможны по всей территории Якутии в течение всего лета.

3.1.3. Осадки

Годовые суммы осадков для большей части территории составляют 200-250 мм, на юге и юго-западе – 350-500 мм. В течение года осадки распределяются неравномерно, в холодный период (с ноября по март) выпадает всего 15-20% от общего количества, в теплый (с апреля по октябрь) – 75-80%, т.е. в 4-5 раз больше. Особенно малое количество осадков (от 150 до 250 мм в год) выпадает на побережье и островах, Янском и Оймяконском плоскогорьях, Верхоянской и Момо-Селенняхской котловинах, а также Центрально-Якутской равнине. На территории Арктического региона количество осадков минимально. Основная часть приходится на середину лета – конец осени, где осадки имеют свою максимальную интенсивность. Как видно из (Рис.7) наибольшее количество осадков выпадает в августе.

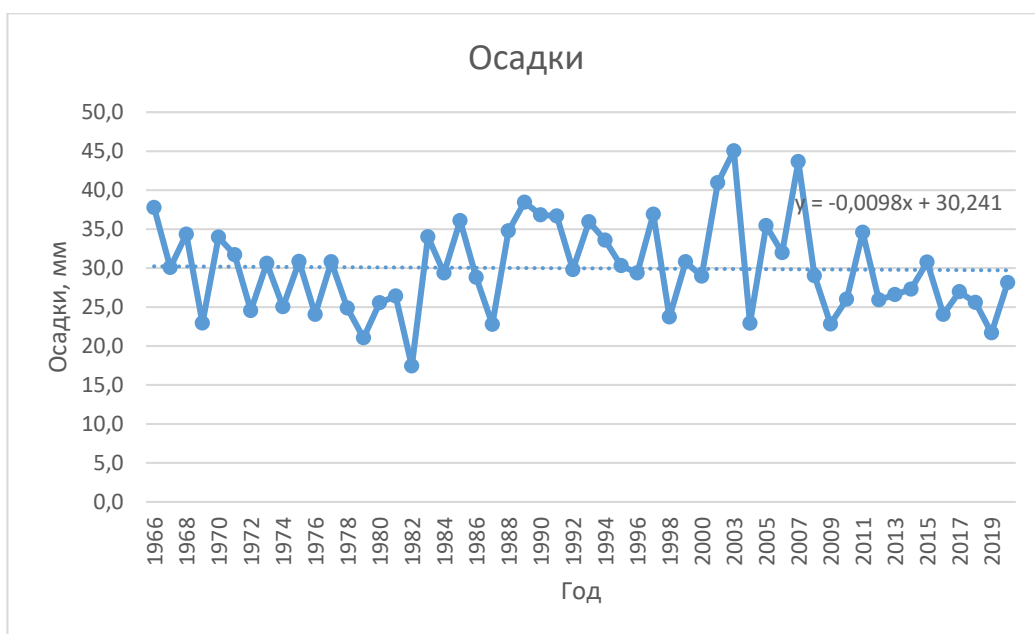


Рисунок 7. Среднегодовые значения осадков с.Кюсюр за период 1966 г. – 2020 г.

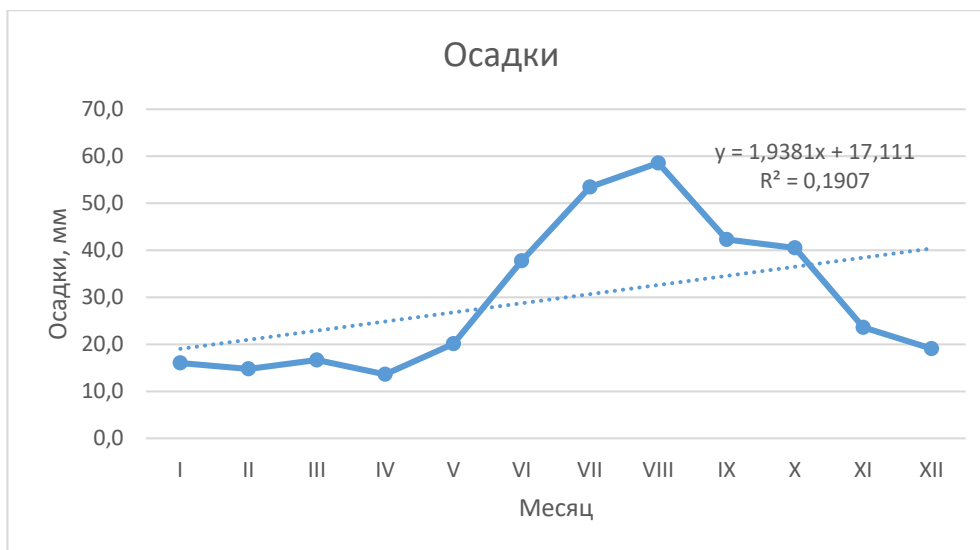


Рисунок 8. Среднемесячные значения осадков с.Кюсюр за период 1966 г. – 2020 г.

3.1.4. Снежный покров

Снежный покров в большинстве районов Якутии сохраняется в течение 225-250 дней в году. В долинах рек Вилюй, Алдан и в среднем течении Лены число дней со снежным покровом наименьшее (220-225). Наиболее длительное залегание снежного покрова (260-295 дней) отмечается на побережье и островах. Высота снежного покрова в Якутии вследствие преобладания антициклонической циркуляции невелика. Особенно мала она (менее 25см) на крайнем севере. Наибольшая высота снежного покрова (40-60 см) наблюдается в верховьях р. Алдан, в долине р. Колыма, в некоторых горных районах. Сход снежного покрова начинается в конце апреля, но уже в марте под активным воздействием солнечных лучей снег интенсивно испаряется.

В связи с изменением температурного режима переходных сезонов наблюдается тенденция уменьшения продолжительности отопительного периода и повышения его средней температуры (до 0,8°C/10 лет) в Центральной Якутии. Существенным следствием изменений температурного режима является увеличение средней глубины сезонного протаивания ММП на 1-2 см. Увеличилась изменчивость количества атмосферных осадков. Тренд годовых сумм осадков за период 1976-2012 гг. на большей территории Якутии имеет отрицательное значение, однако в Центральной Якутии и на западе

республики тренд положительный. При этом практически повсеместно отмечается увеличение количества жидких осадков и уменьшение количества твердых осадков. В некоторых районах увеличилась межгодовая изменчивость характеристик снежного покрова. В отличие от основной тенденции уменьшения скорости приземного ветра, характерной для большей части территории России, в Центральной Якутии отмечается некоторое увеличение локальных коэффициентов линейного тренда скорости приземного ветра за период 1977-2011 гг. – до 0,5 м/с за 10 лет.

4. Раздел 4. Гидрологическая характеристика региона

4.1. Гидрометеорологическая изученность

4.1.1. Режим уровней воды

Наблюдения за уровнем воды на реках рассматриваемой территории начаты в конце XIX – начале XX века в целях обеспечения судоходства. Производились они на больших реках и, как правило, только в навигационный период.

Изучение уровня режима реки Лена получило значительное развитие с 1911 г., когда Министерством путей сообщения была организована Партия по исследованию рек Ленского бассейна. Систематическое изучение водных объектов территории началось после упрочнения советской власти в Сибири. С этого времени наблюдается рост сети гидрологических станций. Особенно интенсивно сеть начала уплотняться после создания Якутской экспедиции АН СССР, Полярного отдела Якутского территориального управления ГУСМП и Гидрометеорологического института Якутской АССР.

4.1.2. Годовой ход уровня воды

Для рек большей части территории характерны в различной степени выраженный подъем уровня воды во время весеннего половодья, значительные и резкие подъемы и спады в летне-осенний период и сравнительно низкое и устойчивое положение уровня в холодную часть года, хотя отдельные водотоки по зимнему режиму могут представлять исключения.

Характерные уровни воды рек и даты их наступления в пунктах наблюдений приведены в издании «Основные гидрологические характеристики».

Учитывая направление хозяйственного использования рек в данном районе и развитых его частях, их уровень режим рассматривается с различной степенью полноты и отдельно для периода открытого русла и зимнего сезона.

4.1.3. Уровни воды в период открытого русла

Уровни воды в период открытого русла, включающего весеннее половодье, дождевые паводки и летне-осеннюю межень, имеют большую изменчивость, в основном обусловленную колебаниями водности реки, а в некоторых случаях и под парами при заторах льда, русловыми деформациями, ледоходом, зарастанием русла.

Высокие подъёмы уровня воды от заторов льда наиболее часто наблюдаются на участках нижних течения рек Оленек, Лены и их притоков. Величина подпора уровня при заторах льда составляет до 1-2 м на средних реках.

Наивысшие уровни весеннего половодья наблюдаются преимущественно после освобождения реки ото льда, но нередко имеет место и в период ледохода или при заторах льда, довольно часто являясь максимальными за период наблюдений.

Одной из характеристик годового хода уровня рек является наибольшая интенсивность его изменения. Особенно быстрый подъём весеннего половодья (4-8 м/сутки) отмечается на больших реках с ясно выраженной этой фазой режима (Оленек, Виллой, Лена на участке с. Витим - с. Покровск и ниже с. Сектяха, Алдан), что обусловлено ускоренным таянием снега в бассейнах, и меридиональном направлении течения рек. Проходящая по руслу волна половодья поддерживается и усиливается местными талыми водами притоков. Для р. Лены и её притоков характерен рост интенсивности подъема половодья вниз по течению, но на участках, где эти реки протекают в широких долинах со значительными поймами, подъем половодья происходит значительно медленнее.

После половодья на относительно равнинных реках на довольно длительное время устанавливается межень, но в отдельные годы она прерывается дождевыми паводками.

Количество летнее-осенних дождевых паводков на реках рассматриваемой территории не одинаково. Наибольшее их число типично в среднем 5-10, максимум 8-16-наблюдается на реках ее Южной и юго-восточной частей.

На приустьевых участках больших рек, характеризующихся интенсивными заторами, разница максимальных уровней половодий и паводков может быть еще большей, например, на р. Оленьке она достигает 7-10 м, на р. Лене у с. Кюсюр - 19 м.

О высоте подъёма уровня воды в период половодья и паводков можно судить по величине амплитуды колебаний уровня. Средняя годовая амплитуда колебаний уровня воды реки в общем зависит от ее водности и морфологических характеристик русла. Для рек рассматриваемой территории установлена зависимость средней годовой амплитуды уровня воды от площади водосбора. На больших и средних реках наибольшая величина средней годовой амплитуды уровня достигает 9-15 м, а в нижнем течении р. Лены у с. Кюсюра даже 28 м, на малых реках составляет 0,5-3,0 м.

Высшие уровни и амплитуда колебаний уровня воды в период открытого русла близки к годовым их значениям, но на участках рек с интенсивными заторами льда значительно меньше их. Амплитуда колебаний уровня воды 1%-ной обеспеченности при открытом русле для больших рек равна 7 - 20 м, для средних и малых водотоков 4,5 - 1,3 м.

Наименьшая амплитуда колебаний уровня воды 99%-ной обеспеченности при открытом русле для большей части водотоков не превышает 1,5 м. На нижних участках больших рек она составляет 3 - 4 м.

Колебания низших летне-осенних уровней воды рек в основном повторяют ход изменения их стока. Величина подпора уровня, обусловленная водной растительностью, незначительна - большей частью не превышает 20-30 см.

В условиях Якутии реки имеют важное значение как транспортные магистрали. Поэтому, кроме сведений о высоких и низких уровнях воды, часто возникает необходимость установления повторяемости и продолжительности их стояния в навигационный период.

4.1.4. Уровни воды зимнего периода

На северо-востоке во второй декаде сентября, а на остальной части территории в конце сентября начале октября наступает похолодание, осадки выпадают уже в виде снега, приток воды в реки быстро сокращается и уровень воды в них начинает падать до нескольких значений в первые дни появления ледяных образований. Замерзание рек обычно сопровождается заметным повышением уровня воды, обусловленным чаще всего стеснением живого сечения потока льдом. Подъем уровня при этом составляет 40 - 10 см, а на реках Лене и Витиме достигает 110-350 см.

После установления на реках ледостава ход уровня воды довольно сложен и разнообразен. По характеру колебаний уровня воды в зимнее время можно выделить три основных типа рек.

К первому типу относятся большие и средние многоводные реки, второй тип включает многие сравнительно небольшие реки юго-западной части территории. К третьему типу принадлежат ежегодно промерзающие реки.

Зимние уровни на преобладающем числе рек обычно ниже летних и являются годовыми минимумами. Самые низкие уровни воды при ледоставе на реках, относящихся к первому типу зимнего хода уровня, наблюдаются в феврале-апреле, а на реках с ходом уровня, в это время соответствующим второму или третьему типам, - в ноябре - декабре.

Наивысшие зимние уровни, как правило, бывают в конце ледостава. Однако на некоторых реках эти уровни в отдельные годы могут наблюдаться в начале или в середине зимнего периода и по своей величине иногда являются наивысшими за год.

4.1.5. Критические уровни воды рек и наводнения

Водность рек рассматриваемой территории резко изменяется как внутри года, так и от года к году, причем в отдельные годы могут наблюдаться весьма низкие меженные или очень высокие паводочные уровни воды. При достижении определенных отметок происходит нарушение нормальных условий хозяйственного использования водных и земельных ресурсов.

При очень низких уровнях воды в реках прекращается судоходство и сплав леса, затрудняется забор воды на орошение и т.д. При высоких уровнях воды нередко возникают наводнения - большие разливы воды, сопровождающиеся временным затоплением сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий, населенных пунктов и приносящие большие убытки народному хозяйству.

По критическим значениям уровня воды приняты следующие основные градации:

I - уровни, ниже которых нарушаются нормальные условия судоходства

II - уровни, выше которых начинается затопление отдельных строений и земельных угодий.

4.2. Особенности и оценки пространственно-временной изменчивости речного стока в многорукавной дельте р. Лены

В последние 30-40 лет сток воды, наносов и теплоты р. Лены претерпел значительные, главным образом, климатически обусловленные изменения. Характер гидрологических изменений на морском крае дельты Лены несколько иной, чем в реке. Причина – трансформация стока в большой и многорукавной дельте реки. Новые данные и методы позволили не только уточнить величину стока воды, взвешенных наносов и теплоты на замыкающем створе Лены, но и оценить величину стока в море. Детально изучены особенности многолетних и внутригодовых колебаний стока воды, взвешенных наносов и теплоты р. Лены, их причины. Оценен вклад антропогенного фактора. Приведены новые сведения о современном распределении стока воды и взвешенных наносов между основными дельтовыми рукавами, его многолетних изменениях, о характере затопления верхней части дельты во время половодья. Проведен анализ достоверности данных стационарных гидрологических наблюдений. Показаны возможности спутниковой съемки в изучении изменения температуры и мутности воды в речных устьях.

На участке от замыкающего створа до вершины и морского края дельты речной сток испытывает большие или меньшие изменения. При значительном удалении гидрологического поста от устья, масштабной боковой приточности и водохозяйственной деятельности, наличии больших по размеру и многорукавных дельт эти изменения максимальны. Учет их имеет принципиальное значение для достоверной оценки притока речных вод в приемный водоем и расчета его водного баланса, для расчета поступающих в море речных наносов, теплоты, растворенных веществ, правильной интерпретации и прогноза гидрологических процессов в устьях рек и на морских побережьях, в том числе неблагоприятных и опасных. В пределах дельт, где происходит рассредоточение и существенная трансформация речного стока, наиболее активна хозяйственная деятельность, высокая

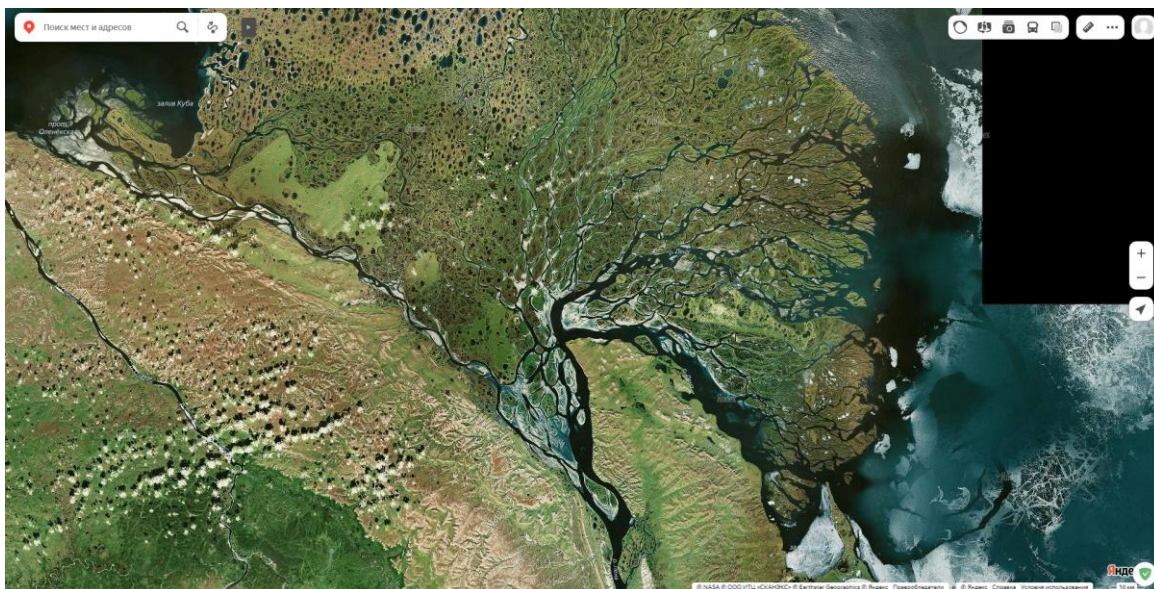


Рисунок 10. Вид со спутника на дельту р. Лены [18]

Общее количество водотоков в дельте достигает 6089; их общая длина 14626 км [19]. Около 42% всех водотоков дельты, по состоянию на 2012 г., принадлежат системе Трофимовской протоки, 29% – Туматской, 18% – Оленекской, 11% – Быковской. Рукава и отмели в них занимают 7317 км². Число термокарстовых, старичных и другого генезиса озер в дельте 58728. Дельта р. Лены состоит из 1614 островов разного генезиса, морфологического строения и высоты.

Водотоки в юго-западной части дельты относятся к системе Оленекской протоки (судоходный рукав), которая отделяется от Главного русла реки у о. Столб, течет в западном направлении и впадает в Оленёкский залив, образуя обширный устьевой бар. Ее длина 210 км. Протока принимает справа крупные Гусиную и Арынскую протоки, слева – Булкурскую протоку и отделяет влево Ангардамскую протоку, самостоятельно впадающую в тот же залив (рис. 9). Восточную часть дельты занимают сложные русловые системы, относящиеся к Туматской, Трофимовской и Быковской протокам. Они как бы веером расходятся от о. Столб, их системы состоят из множества элементов, большого числа узлов разветвления и слияния. Туматская (или Бол. Туматская) протока течет на север. Ее длина 155 км. От нее влево ответвляются крупные

Арынская и Мал. Туматская протоки, а также несколько небольших. Трофимовская протока (длина 142 км) существенно крупнее и, по сути, служит продолжением р. Лены. На своем пути к морю она разделяется на множество небольших водотоков, текущих на северо-восток и восток, и на несколько крупных, таких как Бол. и Мал. Трофимовские, Сардахская (длиной 97 км), Барчах-Уэсе и др. Быковская протока (длина 105 км) – главный судоходный рукав, не менее широкая, течет на восток и впадает в море Лаптевых, миновав справа залив Неелова и образуя вытянутый устьевой бар. От Быковской протоки влево отходят протоки Кюрюелях-Уэсе, Бырдахтах-Уэсе и др., вправо, в залив Неелова, – протока Синицына. Основным продолжением Быковской протоки ниже переката Дашка служит протока Исполатова.

4.2.2. Характеристика стока на замыкающем створе

Замыкающим створом (ЗС) р. Лены служит ГП с. Кюсюр ($F=2430$ тыс. км²). Пост расположен на правом берегу, перед «вхождением» реки в «Ленскую трубу», в 145 км выше ВД и 315 км от моря (от устья Быковской протоки), или на расстоянии 2220 км от Вилуйской ГЭС – 1,2. Пост функционирует с 1934 г., осуществляя весь комплекс гидрологических измерений. Но полноценные измерения расходов завершены в 2012 г, а расходов взвешенных наносов – в 2010 г. За период 1927–2013 гг. (с учетом приведения к ГП Табага, функционирующему с 1927 г.) средний многолетний расход р. Лены у с. Кюсюр составил 17200 м³/с, а годовой объем стока (W) – 542 км³/год (табл. 2).

Таблица 2. Основные гидрологические характеристики стока нижней Лены (с. Кюсюр)

Характеристика	Период	Сток			C _v (C _s /C _v)
		средняя величина	наибольшая дата	наименьшая дата	
Среднегодовой расход воды, м ³ /с	1927–2013	17200 (2,0)	<u>23100</u> 1989	<u>12700</u> 1986	0,13 (4,0)
Максимальный расход воды, м ³ /с	1935–2012	135000 (3,0)	<u>220000</u> 4.06.1989	<u>78000</u> 6.06.1935	0,18 (5,5)
Минимальный зимний расход воды, м ³ /с	<u>1935–1979</u> 1980–2012	<u>992(7,5)</u> 1950(5,3)	<u>2920</u> 30.04.2007	<u>366</u> 27.04.1940	<u>0,22 (–2,5)</u> 0,23 (0)
Минимальный летне-осенний расход воды, м ³ /с	1935–2011	17500 (4,5)	<u>26800</u> 22.08.1983	<u>9800</u> 20.09.1964	0,25 (2,5)
Среднегодовой расход взвешенных наносов, кг/с	1936, 1944, 1960–2010	712(9,4)	<u>1700</u> 2005	<u>240</u> 1984	0,43 (3,5)

В течение года колебания водного стока соответствуют восточносибирскому типу водного режима. Во время половодья проходит около 60% годового объема стока (в мае – 3,9%, июне – 36,2% и июле – 19,4%). Пик половодья соответствуют максимальные за год расход со средней датой 7 июня. На летне-осенний гидрологический сезон с паводками приходится 32,8%: 13,4 (август), 12,2 (сентябрь) и 7,2% (октябрь); на устойчивую зимнюю межень (начинается с 3-й декады октября) – 7,7% и наименьшие за год Q.

Мутность воды нижней Лене мала, поскольку эрозионные процессы в бассейне и поступление продуктов размыва в речную сеть ограничены большой длительностью периода с отрицательными температурами воздуха, размещением бассейна в зоне распространения многолетнемерзлых пород, значительной долей равнинных и залесенных территорий, прохождением половодья в период еще слабо оттаявших почвогрунтов и др. [16]. Небольшую мутность компенсирует огромный по величине водный сток, поэтому сток взвешенных наносов нижней Лены сравнительно велик и равен 22,5 млн. т/год (табл. 2). При этом мониторингом на постах никак не оценивается часть

взвесей, переносимых речным льдом. А она на арктических реках значительная.

4.2.3. Распределение стока воды в дельте

От замыкающего створа к дельте годовой объем стока (W_T) возрастает за счет бокового притока с водосбора площадью 17,5 тыс. км². Его величина, согласно актуальным данным гидрометрических наблюдений на реках района и карте «Среднегодовое годового стока рек» [20], приблизительно равна 4 км³. Внутригодовой режим рек левобережного и правобережного водосборов различается. В среднем на май приходится 2% добавочного стока, на июнь – 57,8%, июль – 18,8%, август – 12%, сентябрь – 8%, октябрь – 1,3%, на зимние месяцы – около 0,1%. Еще ~1,9 км³ воды поступает с местного водосбора в пограничные рукава дельты – в Булкурскую и Оленекскую протоки (с $F=8,77$ тыс. км², со склонов кряжа Чекановского), в Главное русло и Быковскую протоку (с $F=1,61$ тыс. км², со склонов хребта Хараулахского). В самой дельте, благодаря ее размещению в зоне избыточного увлажнения, добавляется (с учетом ее площади) ~5,1 км³ водыв год. В результате, сток воды р. Лены увеличивается от замыкающего створа к морю на 11 км³ (на 2%).

Основная трансформация водного стока р. Лены связана с его максимальным рассредоточением по территории дельты – по элементам русловой сети и в форме пойменных потоков. Распределение стока начинается уже в вершине дельты – у оголовья о. Тит-Ары. Он распределяется между небольшой, отходящей влево Булкурской протокой и главным продолжением реки Лены. О характере этого распределения можно судить на основе данных стационарных наблюдений на гидростворе «4,7 км выше о. Столб» (в конце главного русла) и четырех измерений Q в устье Булкурской протоки, выполненных летом–осенью 2004–2006 гг. участниками проекта «Природная система моря Лаптевых» [21]. Обработка данных показала, что при Q на замыкающем створе < 45000 м³/с в Булкурскую протоку поступает менее 1%

стока реки (табл. 3), а при $Q < 20000 - 25000 \text{ м}^3/\text{с}$ функционирование протоки прекращается вовсе. С увеличением водности Лены стоковая доля Булкурской протоки резко увеличивается (до 6% и выше). Эти оценки отражают изменения именно руслового стока (без пойменной составляющей). На водный режим Булкурской протоки, помимо водности реки, оказывает влияние положение уровенной поверхности в Оленекской протоки, ледовые явления. В многолетнем плане обнаружено увеличение доли стока главного русла со скоростью $\sim 0,9\%/10$ лет, что свидетельствует об его активизации и отмирании боковых водотоков на этом участке дельты.

Таблица 3. Распределение расходов воды в верхней части дельты р. Лены. По данным стационарных измерений в 2001–2007 гг. (среднесуточные, срочные) и экспедиционных измерений ААНИИ, СПбГУ в летние сезоны 2004–2006 гг. в Булкурской протоке

Река Лена		Вершина дельты			Основной узел разветвления						
Замыкающий створ ГП Кюсюр		Главное русло, 4,7 км выше о. Столб	Булкурская протока, устье	Невязка $\sum Q$ по отношению к Q на ГП Кюсюр	Исток Быковской протоки, ГП Столб (Хабаровка)		Исток Трофимовской протоки	Исток Туматской протоки	Оленекская протока ниже узла слияния с булкурской протокой	Невязка $\sum Q_i$ по отношению к Q на посту	
										Кюсюр	4.7 км выше о. Столб
Q_i , м ³ /с	H, см	Q_i , м ³ /с	Q_i , м ³ /с	%	Q_i , м ³ /с	H, см	Q_i , м ³ /с	Q_i , м ³ /с	Q_i , м ³ /с	%	%
1000	170	900	-	-10	220	55	850	0	0	7	19
2000	250	1800	-	-10	310	70	1500	0	0	-9,5	0,5
3000	340	2700	-	-10	510	100	2150	0	0	-11,5	-1,5
4000	415	3750	-	-6	700	140	2850	20	60	-9	-3
5000	505	4400	-	-12	900	170	3200	60	110	-14,5	-3

7000	655	6600	-	-6	1500	280	4600	190	270	-6,5	-0,5
10000	750	10000	-	0	2450	350	6850	400	480	2	2
15000	-	15500	-	3	3750	-	10400	730	840	5	1,5
20000	-	22000	-	10	5400	-	14400	1100	1250	11	0,5

Масштабные разливы речных вод в дельте во время половодья и паводков не приводят к значимому экономическому ущербу. Дельта практически не заселена (здесь проживает ~0,5 тыс. чел.), населенных пунктов всего 4, небольших по размеру, защищенных от затопления своим высотным положением. Тем не менее, при максимальных расходах воды р. Лены обеспеченностью менее 7,5–15% и на подъеме половодья пос. Тит-Ары может почти полностью покрываться водой и частично заваливается льдом. Особенно значительным было затопление поселка в 1958 г. во время половодья и мощного затора льда.

4.2.4. Трансформация стока наносов в дельте

К вершине дельты р. Лены сток взвешенных наносов, можно принять, поступает в таком же объеме, что и к замыкающему створу (табл. 2). Боковая приточность на участке «замыкающий створ – вершина дельты», согласно данным из [22] и уточненным оценкам по притоку воды, в размере ~0,32 млн т/год компенсируется аккумуляцией наносов в условиях снижения уклонов водной поверхности и скоростей течения при выходе реки из «Ленской трубы». В дельту транспортируются также влекомые наносы (~5,4 млн т/год). Сток взвешенных наносов в пограничные рукава дельты с местного водосбора может достигать 125 тыс. т/год; сток влекомых наносов, вероятно, выше.

Таблица 4. Современное распределение расходов взвешенных наносов в верхней части дельты р. Лены. По данным стационарных измерений в период открытого русла (среднедекадные) и экспедиционных измерений ААНИИ и СПбГУ в Булкурской протоке в летние сезоны 2004–2006 гг.

Вершина дельты		Основной узел разветвления				
Главное русло, 4,7 км выше о. Столб		Бул-курская протока, устье	исток Быковской протоки	исток Трофимовской протоки	исток Туматской протоки	Оленекская протока нижеузла слияния с Булкурской протокой
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$R, \text{ кг/с}$	$R_i, \text{ кг/с}$	$R_j, \text{ кг/с}$	$R_l, \text{ кг/с}$	$R_i, \text{ кг/с}$	$R_i, \text{ кг/с}$
10000	60	~0	20	50	5	5
20000	300	~0	65	200	10	20
30000	800	0,5	155	630	60	55
40000	1450	2,5	290	1100	140	95
50000	2250	12,5	500	1650	250	145
60000	3150	60	755	2150	400	205
80000	4900	–	1290	3150	800	345
100000	6900	–	1950	4200	1380	510

4.2.5. Продольные изменения температуры воды и стока теплоты в дельте

Температура воды (T) р. Лены закономерно уменьшается по длине ее нижнего участка, имеющего меридиональное и северное направление (табл. 5). Но река вплоть до моря Лаптевых сохраняет свою обогревающую функцию, поскольку не опускается ниже 0°C и температура воды превышает температуру воздуха в июле–октябре.

На измерения T значительное влияние оказывают местные факторы, как в случае с постами Джарджан, Кюсюр. Измеренные у берега и в поверхностном слое температуры воды в полной мере не отражают распределение этой характеристики по ширине и глубине реки и, как следствие, осредненную по живому сечению речного потока ее величину. Согласно А.М. Рейнбергу [23] и по данным за июнь–август 1936 г., средний

переходный коэффициент от T , измеренной у берега, к средневзвешенной потока для ГП Кюсюр равен 1,22.

Несмотря на эти проблемы, определенные выводы по имеющимся данным сделать можно. Во-первых, измеренные на замыкающем створе температуры воды занижены ввиду искажения термического режима реки на участке поста под влиянием более холодных вод р. Эбители (табл. 5) – в среднем на 1 °С в июне, менее чем на 0,5 °С в июле–августе. Поэтому W_T , вероятно, выше примерно на 1000×10^{12} кДж/год, в сравнении с величиной из табл. 2. Еще большую величину W_T дает использование в расчетах осредненной по потоку T . Во-вторых, скорость продольного снижения T максимальна (за единый период наблюдений – 1962–1991 гг.) в нижнем течении реки и в июне (0,6–0,8 °С/100 км). В остальные месяцы она варьирует в диапазоне 0,25–0,35 °С/100 км. В-третьих, в дельтовых рукавах систем Быковской и Оленекской проток, т.е. широтного направления, T испытывает в целом незначительные изменения. Наоборот, в рукавах систем Туматской и Трофимовской проток, текущих на север и северо-восток, T продолжает снижаться, причем с большей скоростью, чем в нижнем течении реки – 1,4 °С/100 км в июне, 1,5–2,5 °С/100 км в остальные месяцы.

Таблица 5. Трансформация температур воды вдоль нижнего участка и в дельте р. Лены (за период 1962–1991 гг.)

Пост	Водоток	Расстояние, км	Среднемесячная температура воды			
			Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Жиганск	р. Лена	0	10,2	17,0	14,6	7,2
Джарджан	р. Лена	242	7,7	14,6	12,2	4,5
Сииктээх	р. Лена	386	7,1	15,6	13,7	6,3
Кюсюр	р. Лена	543	4,7	13,7	12,7	6,0
Тит-Ары	Главное русло	702	5,2	13,5	12,5	5,5
Столб	Быковская протока	754	5,6	14,7	14,0	7,7
О. Малышева	Исполатова протока	838	4,5	13,8	12,9	6,9
Сыгыллах-Ары	Антипинская протока	887	2,6	10,5	8,4	3,2
Эбетем	р. Эбитиём	-	3,7	9,6	8,4	2,8

Величина теплового стока на участке «замыкающий створ – вершина дельты» испытывает две противоположные тенденции: увеличение вследствие поступления стока теплоты с бокового водосбора [24] и уменьшение из-за снижения температуры воды. Поскольку термический режим на участке ГП Кюсюр нарушен, влияние второго фактора не обнаруживается.

5. Раздел 5. Защита и действия населения в чрезвычайных ситуациях

5.1. Защита населения и территорий при наводнениях

Наводнением называется временное затопление значительной части суши в результате действий сил природы, которое причиняет, как правило, большой материальный ущерб и приводит к гибели людей и животных.

5.1.1. Общие сведения о наводнениях

К основным причинам возникновения наводнений на рассматриваемой территории можно отнести следующие:

- Интенсивные осадки и таяние снега
- Ледяные заторы на реках

Наводнения занимают первое место среди других стихийных бедствий по повторяемости, площади распространения и ущербу.

Ущерб, причиняемый наводнением, связан с целым рядом поражающих факторов, важнейшими из которых являются:

- быстрый подъем воды и резкое увеличение скорости течения, приводящие к затоплению территории, гибели людей и скота, уничтожению имущества, сырья, продовольствия, посевов, огородов и т.п.;
- низкая температура воды, пребывание в которой людей может приводить их к заболеваниям и даже к смерти;
- низкая температура воды, пребывание в которой людей может приводить их к заболеваниям и даже к смерти (табл. 6)
- смыв плодородной почвы и уничтожение посевов

Таблица 6. Допустимое время пребывания человека в воде

Температура воды	+ 24 °С	+10-15 °С	+2-3 °С	-2 °С
------------------	---------	-----------	---------	-------

Время пребывания	7-9 часов	3,5-4 часа	10-15 мин	5-8 мин
------------------	-----------	------------	-----------	---------

К наводнениям могут приводить заторы, зажоры и ветровые нагоны на реках.

Затор – это скопление льда в русле, ограничивающее течение реки. Итог – подъем воды и ее разлив. Обычно это явление бывает в конце зимы и в весенний период при вскрытии рек.

Зажор – явление, сходное с затором. Зажор состоит из скопления рыхлого льда и происходит в начале зимы, а затор состоит из крупных льдин и происходит весной.

Ветровые нагоны – это подъем уровня воды, вызванный воздействием ветра на водную поверхность.

По размерам и наносимому ущербу различают небольшие, большие, выдающиеся и катастрофические наводнения.

Небольшое наводнение наносит незначительный материальный ущерб и почти не нарушает нормального течения жизни людей. Повторяемость их примерно один раз в 5-8 лет и характерны они для малых рек.

Большое наводнение сопровождается значительным материальным ущербом, в том числе и причиняемым населению. Часть населения, материальных ценностей и скота эвакуируется. Повторяемость – примерно один раз в 10-25 лет.

Выдающееся наводнение охватывает крупную речную систему, почти полностью парализует хозяйственную деятельность региона и наносит большой материальный и моральный ущерб. Возникает необходимость массовой эвакуации населения. Повторяемость таких наводнений – примерно один раз в 50-100 лет.

Катастрофическое наводнение распространяется на несколько крупных речных бассейнов. Оно надолго парализует хозяйственную деятельность

человека и сопровождается человеческими жертвами. Повторяемость – один раз в 100-200 лет и реже.

Одним из наиболее опасных является наводнение, причина которого в прорыве плотины, дамбы или другого гидротехнического сооружения, либо в переливе воды через плотину из-за переполнения водохранилища. Затопление местности, расположенной ниже сооружения, осуществляется в этом случае внезапно, с приходом, так называемой волны прорыва, вытеснения (обрушение в водохранилище большой массы грунта) или пропуска (аварийный спуск воды из водохранилища), высота такой волны может достигать нескольких десятков метров, а скорость движения - несколько десятков метров в секунду.

Критерии, характеризующие наводнение:

- Максимальный расход воды
- Максимальный уровень воды
- Скорость подъёма воды
- Высота и продолжительность стояния опасных уровней вод и площадь затопления

5.1.2. Воздействие наводнения на население и окружающую среду

Наводнения наносят *прямой и косвенный* ущерб. К прямому ущербу относятся гибель, переохлаждения и травмы людей, повреждения и разрушения жилых и производственных зданий, дорог, линий электропередач и связи, гибель скота и урожая, уничтожение и порча сырья, топлива, продовольствия, кормов и удобрений, затраты на временную эвакуацию населения, уничтожение плодородного слоя почвы. При этом гибель людей может явиться следствием утопления, тяжелых травм и переохлаждения; переохлаждение может явиться также причиной многих заболеваний, травмы могут наноситься тяжелыми плавающими предметами или возникать от ударов о преграды при движении в быстром потоке.

Видами косвенного ущерба являются затраты на приобретение и доставку в районы бедствия продуктов питания, кормов и необходимых материальных средств, сокращение выработки продукции вследствие затопления предприятий, ухудшение условий жизни населения, невозможность рационального использования территорий в зоне затопления.

Наводнения в большинстве случаев доступны для прогнозирования, что позволяет предотвратить массовые жертвы среди населения и сократить ущерб.

5.2. Специфика мероприятий по защите населения и территорий в условиях наводнений, проводимые ГОЧС заблаговременно в режиме повседневной деятельности

5.2.1. Правовые мероприятия

За последние годы на федеральном уровне принято значительное количество различных нормативно-правовых актов, имеющих непосредственное отношение к проблеме обеспечения безопасности и защиты населения и территорий от наводнений. Тем самым создана определенная юридическая база для регулирования отношений и дальнейшего развития законодательства в этой сфере, в том числе и на уровне субъектов Российской Федерации. Основными из них являются:

- Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ;
- Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21 июля 1997 г. №117-ФЗ;
- Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды» от 10 января 2002 г. №7 ФЗ;

5.2.2. Организационные мероприятия

Планирование защиты населения и территорий в условиях наводнения осуществляется в соответствии с общими положениями [25] с учетом специфики наводнений. Особое внимание уделяется планированию эвакуации населения из зон затопления.

Создание и поддержание в постоянной готовности сил и средств проведения спасательных работ. Силы – в соответствии с общими положениями [25] с обязательным наличием инженерных подразделений, оснащенных плавсредствами и вертолетных подразделений. Средства: поисковые вертолеты, скоростные катера, глиссеры и другие средства разведки; спасательные плавсредства для эвакуации населения; инженерная техника для укрепления дамб и других инженерных сооружений по берегам водоемов; средства для восстановления мостов, линий электропередач и связи.

Создание повышенных запасов спасательных средств: изолирующих противогазов, аквалангов, спасательных жилетов, пробковых поясов и т.п., а также термических грелок, индивидуальных аптечек и других средств оказания помощи, пострадавшим на воде и от переохлаждения.

Контроль состояния рек и водоемов, а также прогнозирование возможных наводнений и их последствий, осуществляемый путем постоянного поддержания взаимодействия с гидрологическими службами РФ.

Поддержание в постоянной готовности системы оповещения населения, в том числе с использованием плавсредств, при нарушениях линий связи.

Подготовка населения к действиям в условиях наводнения проводится в соответствии с общими положениями обучения [25] и спецификой, данной ЧС.

5.2.3. Инженерно-технические мероприятия

Проектирование и строительство жилых районов и промышленных объектов особенно потенциально-опасных, вне мест возможного затопления с высокими уровнями паводка с учетом норм запаса их прочности в условиях затопления.

Рациональное размещение элементов инфраструктуры с учетом возможных зон катастрофических затоплений

Обеспечение необходимой устойчивости функционирования мостов, линий связи и линий электропередач на случай наводнения.

Строительство домов на сваях и использование в зонах возможного затопления помещений нижних этажей жилых зданий для административных целей.

Регулирование паводкового стока с помощью гидротехнических сооружений (плотин, дамб), укрепление берегов рек, спрямление русел рек, и подсыпка низменных участков территорий.

5.3. Мероприятия по защите населения и территорий в условиях наводнений, проводимые ГОЧС в зависимости от режимов готовности

В режиме повышенной готовности:

Усиление контроля органами управления ГОЧС, с помощью гидрометеорологических служб, за подъемом уровня воды в водоемах, прогнозирование возможных районов и площадей затопления, предполагаемых максимальных уровней воды, масштабов и степени вероятного ущерба для населения и территорий.

Оповещение жителей прогнозируемых районов затопления об угрозе наводнения, возможной эвакуации, районах временного расселения и

маршрутах следования к ним, с использованием всех возможных средств, включая подвижные.

В чрезвычайном режиме:

Экстренные мероприятия

Разведка (воздушная, наземная, подводная) района затопления с целью выявления обстановки. Главными задачами разведки являются: определение границ затопления; контроль динамики развития наводнения; установление мест нахождения нуждающихся в помощи людей и сельскохозяйственных животных; выявление материальных ценностей, подлежащих вывозу из зоны бедствия; выбор и разведка маршрутов эвакуации населения.

Проведение комплекса спасательных работ с целью спасения людей в зоне затопления, оказавшихся в наиболее сложной обстановке: поиск пострадавших; обеспечение доступа спасателей к пострадавшим; их деблокирование (при необходимости); оказание пострадавшим первой медицинской помощи; проведение экстренной эвакуации; временное размещение людей, при невозможности их эвакуации, на незатопленных участках местности и в неразрушенных сооружениях.

Основные мероприятия

Проведение эвакуации людей и сельскохозяйственных животных из всей зоны затопления; локализация наводнения; проведение противозидемических мероприятий; оборудование причалов для спасательных средств; ликвидация заторов и зажоров; укрепление (возведение) дамб.

Завершающие мероприятия

Восстановление дорожных сооружений и энергоснабжение.

Проведение комплекса мероприятий первоочередного жизнеобеспечения населения в зависимости от масштабов бедствия, времени года и других

факторов – обеспечение населения жильем, продовольствием, одеждой, предметами первой необходимости, медицинское обеспечение, обеспечение коммунальными услугами и т.д.

5.4. Комплекс проводимых мер для предотвращения наводнений р. Лены

В Республике Саха (Якутия) действует специально уполномоченный государственный орган управления использованием и охраной водного фонда - Ленское бассейновое водное управление (ЛБВУ). Зона его деятельности распространена как на водосборный бассейн р. Лены, так и на другие реки, впадающие в северные моря (площадь порядка 3,5 млн. км²).

К комплексу защитных мероприятий относятся:

- Вынос строений из зоны потенциального затопления;
- Расчистка, спрямление и берегоукрепление русел;
- Разрушение заторов при помощи взрывных, ледо-резных и ледокольных работ;
- Регулирование стока р. Лены в водохранилищах;
- Разработка системы прогнозирования наводнений и современного оповещения населения.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации, принятому после разрушительного весеннего наводнения в 2001 г. в Республике Саха (Якутия), ведется строительство противопаводковых защитных сооружений с целью предотвращения повторного затопления паводковыми водами особо крупных населенных пунктов на р. Лене (города Ленск, Олекминск, Якутск).

6. Заключение

В настоящей работе выполнен анализ возникновения чрезвычайных ситуаций в арктической зоне РФ на водных объектах и пути ликвидации их последствий.

Все задачи выполнены в полном объёме, а именно:

1. Изучена статистика возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера в АЗРФ на водных объектах. Выявлено, что основным источником возникновения ЧС природного характера в АЗРФ на водных объектах является изменение климата, а именно повышение мировой температуры, что способствует таянию ледников и повышению уровня мирового океана, вследствие чего можно наблюдать более длительные периоды половодья.

2. Рассмотрены физико-географические особенности возникновения опасных гидрометеорологических явлений в Арктике и морях. Определен годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в широтном поясе 70-85° с.ш. Изучены перечни и критерии опасных гидрометеорологических явлений

3. Выполнена оценка климатических условий региона. Рассматривались такие характеристики как: Радиационный баланс, температура воздуха, количество осадков, снежный покров.

4. Выполнен анализ гидрологической характеристики региона. Были изучены: Режим уровней воды, годовой ход уровня воды, уровни воды в период открытого русла, уровни воды зимнего периода, критические уровни воды рек и наводнения.

5. Определен комплекс защитных мер при возникновении ЧС и пути ликвидации последствий ЧС. Для этого рассматривались: Защита населения и территорий при наводнениях, мероприятия по защите населения при наводнениях, комплекс проводимых мер для предотвращения наводнений на р. Лена.

Список литературы

1. В.А. Акимов, Ю.И. Соколов, Федеральное государственное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций» (Федеральный центр науки и высоких технологий) – ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, г. Москва. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России.
2. "Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу" (утв. Президентом РФ 18.09.2008 N Пр-1969)
3. Цунами на Полярном Урале: почему исчез ледник МГУ URL: <https://www.vesti.ru/article/2453965>
4. Ткачев Б.П. Гидрометеорологическое обеспечение устойчивого развития Севера (Арктики). Безопасный Север – чистая Арктика: материалы I Всероссийской научнопрактической конференции (г. Сургут, 26 октября 2018 г.). Сургутский гос. ун-т. Сургут: ООО «Печатный мир г. Сургут», 2018. С. 14–25.
5. Международная экспедиция MOSAiC завершила программу исследований вблизи Северного полюса URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/9718319>
6. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И. Защита населения и территорий Российской Федерации в условиях изменения климата. Москва. Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. 2016. 388 с.
7. Разумов В.В., Разумова Н.В., Пчелкин В.И. Масштабы и опасность наводнений в Сибирском регионе России // Наука. Инновации. Технологии. № 4. 2015 г. С. 103-144.
8. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году.

9. Развитие Арктических территорий Российской Федерации в XXI веке в контексте безопасности от чрезвычайных ситуаций различного генезиса. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Российская Федерация e-mail: knaybrv@mail.ru. Геополитика и экогеодинамика регионов. Том 7. Вып. 2. 2021 г. С. 58–72.

10. Иванов В.В., Алексеенков Г.А. Анализ крупномасштабных атмосферных процессов за 2017 г. и фоновый долгосрочный метеорологический прогноз на 2018 г. – Научно-практический семинар ААНИИ, март 2018. – презентация на сайте ААНИИ.

11. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2017. – 760 с.

12. Брызгин Н.Н., Дементьев А.А. Опасные метеорологические явления в Российской Арктике; под ред. В.Ф. Радионова; Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1996. - 156 с.

13. Национальный атлас Арктики. - М.: Росреес: 2017 – 496 с.

14. <https://ykuthydromet.ru/opasnye/> ПЕРЕЧЕНЬ И КРИТЕРИИ опасных гидрометеорологических и комплексов неблагоприятных метеорологических явлений, которые могут нанести ущерб экономике и населению Республики Саха (Якутия)

15. Арктика и Север / Arctic and North. 2016. № 24 © Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, 2016 © Редакция электронного научного журнала «Арктика и Север», 2016. ISSN 2221-2698

16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район. Под редакцией канд. геогр. наук, М.С. Протасьева. Гидрометеиздат. Ленинград, 1972.

17. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. – М.: Изд-во МГУ, 1998. 176 с.
18. <https://yandex.ru/maps/?l=sat%2Cskl&ll=127.951223%2C72.495222&z=8>
19. Иванов В.В., Пискун А.А., Корабель Р.А. Распределение стока по основным рукавам дельты Лены // Труды ААНИИ, 1983. Т. 378. С. 59–71.
20. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. – Л.: Гидрометеиздат, 1986.
21. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. – СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
22. Магрицкий Д.В. Годовой сток взвешенных наносов российских рек водосбора Северного Ледовитого океана и его антропогенные изменения // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. 2010. № 6.
23. Рейнберг А.М. Материалы по гидрологии низовьев реки Лены // Тр. Арктического института. 1938. Т. 105.
24. Магрицкий Д.В. Тепловой сток рек в моря Российской Арктики и его изменения// Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. 2009. №5.
25. Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова. Кафедра защиты действий населения в чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие «Защита и действия населения в чрезвычайных ситуациях». Москва, 2014 г., 384 с.