

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

На тему Оценка гелиоэнергетического потенциала района Арктики в зави-
симости от метеорологического и радиационного режима

Исполнитель Кольчукова Анастасия Ивановна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«_09_» _____ 06 _____ 2020г.

Санкт-Петербург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Анализ условий формирования режима солнечной радиации в Арктике.....	5
1.1 Физико-географические особенности районов Арктики	5
1.2 Анализ циркуляционных особенностей климата арктического региона ..	11
1.3 Режим изменчивости облачности и длинноволновой атмосферной радиации.....	16
1.4 Первые измерения солнечной радиации в Арктике	17
Глава 2. Оценка радиационного режима и мутности атмосферы в Арктике .	21
2.1 Анализ годового хода составляющих радиационных режим.....	21
2.2 Расчёт параметров мутности и прозрачности в Арктике.....	25
2.3 Значения спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации	28
Глава 3. Расчёт гелиоэнергетического потенциала для районов Арктики	34
3.1 Природный гелиоэнергетического потенциал на основе данных продолжительности солнечного сияния	34
3.3 Результаты оценки ресурсов солнечной энергии территории	40
3.4 Перспективы Арктического региона как ключевой источник российских энергоресурсов	45
Заключение	50
Список использованных источников	51

Введение

В настоящее время тематика арктического региона чрезвычайно популярна и обсуждается на самом высоком уровне не только у нас в стране, но и за рубежом. Такой повышенный интерес, суровой и слабо обжитой территории объясняется перспективностью. В современном мире многие государства мира понимают необходимость развития альтернативной энергетики, в связи с быстрым убыванием природных энергетических ресурсов и нарастанием в ряде стран мира энергетического кризиса. Для решения этой проблемы учёные по всему миру ищут пути использования других видов энергии, как для промышленных, так и для бытовых целей. Солнечная энергия является очень значимым ресурсом для жизни всей планеты. Она не только представлена в большом количестве, но и является экологически чистым источником энергии, что в настоящий момент является одним из важнейших критериев выбора.

В связи с этим, данное исследование является актуальным для для получения тепловой, электрической или механической энергии и определяющая отрасли, области и масштабы целесообразного использования энергии солнечной радиации в производстве.

Целью данной работы является оценка гелиоэнергетического потенциала района Арктики в зависимости от метеорологического и радиационного режима.

Существенной задачей является проблема оценки и использования гелиоэнергетических ресурсов отдельных районов. Для её решения был сделан анализ, с использованием месячных и годовых сумм суммарной радиации, а также результаты наблюдений за интегральной и спектральной прозрачностью атмосферы, полученные на отдельных российских антарктических и арктических станциях за длительные периоды наблюдений.

Но в первую очередь нужно очертить границы ареала, называемого Арктической зоной. В строгом научном понимании, это территория, распо-

ложенная к северу от Полярного круга. Большая эта часть покрыта многолетними льдами, в основном акватории Северного Ледовитого Океана. Также и на самом континенте присутствуют длительные промерзания грунта – многолетняя мерзлота. Эта территория практически лишена населения, и имеет массу разных проблем: экологические, а в следствии и демографические, социальные, хозяйственные.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из трёх разделов.

В первой главе были рассмотрены физико-географические характеристики района, анализ циркуляционных особенностей климата арктического региона, режим изменчивости облачности и длинноволновой атмосферной радиации.

Во второй главе был сделан анализ годового хода составляющих радиационный режим, рассчитаны параметры мутности и прозрачности в Арктике, получены значения спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации.

В третьей главе, из полученных данных были найдены значения спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации, получили результаты оценки ресурсов солнечной энергии территории, чтобы понять перспективы Арктического региона, как ключевой источник российских энергоресурсов.

В заключении даны основные выводы по результатам работы.

Глава 1. Анализ условий формирования режима солнечной радиации в Арктике

1.1 Физико-географические особенности районов Арктики

Арктикой, называется прилегающая к Северному полюсу полярная область земного шара. Эта область лежит под созвездием Большой Медведицы (по гречески-Arcticos), вследствие чего происходит название этого района [20]. Ранее границу Арктики определяли по Северному полярному кругу. В настоящее время-это линия изотермы $+10^{\circ}\text{C}$ для июля [20]. Эта изотерма охватывает Северный Ледовитый океан, Гренландию, Шпицберген, большую часть Исландии и северные побережья, острова России, Канады и Аляски. Границей является зона, где севернее Северного Полярного круга Солнце не поднимается над горизонтом во время зимнего солнцестояния (21 декабря) и не заходит за горизонт во время летнего солнцестояния (21 июня) [21]. Двигаясь к северу продолжительность полярного дня и ночи возрастает, достигая полугода, в каждом случае, на Северном полюсе. Освещения во время полярной ночи мы можем наблюдать только от Луны или полярных сияний.

Площадь территории всей Арктики составляет около 27 млн. км² [21], это почти в три раза больше территории Европы. Площадь территории Российского островного сектора составляет около 200 тыс. км², в которую включены острова: Северная Земля, архипелаг Земля Франца Иосифа, Новая Земля, Новосибирские острова, остров Врангеля и другие.

Ледники арктических островов расположены по островам Земли Франца-Иосифа или Северной Земли. Они похожи на кусочки лунного диска: образуют правильные купола с пологими склонами, ярко светящиеся белизной, благодаря чему их часто называют-лунными архипелагами.

С запада на восток располагается островная Арктика, она находится почти во всём евроазиатском секторе Северного Ледовитого океана и в пределах арктического и субарктического климатического поясов. Острова Новой Земли- 82, 6 тыс. км², что имеет наибольшие размеры. На 80° с.ш. и

севернее находится самый северный и западный архипелаг-Земля Франца-Иосифа. Острова Ушакова, Шмидта и Комсомолец находятся в этих же широтах, но немного восточнее. Заповедными островами Врангеля и Геральда, которые располагаются на востоке, уже пределах западного полушария, страна заканчивается. Колгуев-низменный заболоченный участок суши с максимальной высотой 181 м, находящийся южнее 70° с.ш., является самым южным островом[21].

Большая часть Арктики - это жидкая солёная вода бассейна Арктического океана. Некоторые части поверхности океана остаются замёрзшие в течение всего или почти всего года. Эта замёрзшая морская вода называется-морской лёд. Зачастую морской лёд покрыт толстым слоем снега. Морской лёд помогает определить климат Земли. Он имеет очень яркую поверхность(альбедо). Это альбедо составляет около 80% солнечного света, который падает на морской лёд и отражается обратно в космос. Однако тёмная поверхность жидкого океана забирает около 90% солнечной радиации. Благодаря термохалинной циркуляции арктический толстый отражающий морской лёд смягчает температуру воды океана по всей планете. Арктика испытывает экстремальные значения солнечной радиации. В течение зимних месяцев северного полушария, Арктика является одним из самых тёмных и холодных мест на Земле. После захода Солнца в день осеннего равноденствия в сентябре наклонная ось Земли и её оборот вокруг Солнца приводит к снижению уровня света и тепла, которые достигают Арктику до уровня полного отсутствия солнечного света. Солнце восходит снова во время весеннего равноденствия в марте и в Арктике начинается постепенное увеличение солнечного света и тепла. К июньскому солнцестоянию в Арктике солнце светит 24 часа в сутки

Геологическое строение

Огромный ландшафт Арктики, занимающий площадь около 13,4 x 10⁶ км²[21], очень разнообразный, с большими ледниками и участками покрытыми льдом. Ледники - это большие массы льда, которые текут под

собственным весом. Они образуются, там где преобладает отрицательная температура воздуха, осадки выпадают преимущественно в виде снега, а температура летом не достигает того уровня, чтобы этот снег успевал растаять. Таяние, замерзание и давление постепенно превращают снег в лед[20].

Гренландию, которую часто называют самым большим островом в мире, на самом деле состоит из многочисленных горных островов, почти полностью покрытых постоянной ледяной шапкой, толщиной до 3000 м. Он охватывает 24 градуса широты (2670 км), в ширину 1200 км самая широкая точка, и занимает площадь около 2 186 000 км²[20]. Основные участки свободные ото льда земли находятся на юго-западе, севере и северо-востоке. Вдоль побережья Гренландии, выходящие ледники из ледяного покрова текут к морю. Ледники, оканчивающиеся в море, периодически отламываются или отекают, образуя айсберги.

Исландия расположена к югу от Полярного круга (66 ° 32'N)[20]. Этот гористый и вулканически активный остров лежит на Срединно-Атлантическом хребте. Его средняя высота составляет около 500 метров над уровнем моря. Одна четвёртая материка находится на 200 м ниже уровня моря. Он имеет площадь 103 000 км², 11% его поверхности покрыты ледниками и более 50% поверхности суши не имеет растительности.

Фарерские острова, общей площадью 1399 км², расположены в 430 км к юго-востоку от Исландии. Рельеф- гористый, средняя высота 300 м.

Шпицберген и Земля Франца-Иосифа - арктические архипелаги 63 000 и 10 000 км²[20], соответственно. Эти гористые острова и другие, лежащие к северу от Евразии, около 90% покрыты льдом.

Фенноскандинавская арктическая зона охватывает около 300 000 км², но большая часть этой территории является субарктической, из-за тёплого влияния залива Гольфстрима.

Кольский полуостров (около 145 000 км²) на Российском материке, также субарктический и содержит много озер. Кольский полуостров (около

145 000 км²), расположенный на Российском материке, также субарктический и содержит много озер[20]. Вечная мерзлота отсутствует, за исключением случайных явлений на вершинах полуострова, побережья свободны ото льда. Часть Арктики, к западу от Урала показывает большой разброс в ландшафте, но большая часть площади покрыта равнинами, плохо осушенные низменности - болота. Сибирское побережье, как правило, состоит из равнин и включает в себя дельты многих больших северных рек. Ледяные горы характерны для российских полуостровов: Таймыр и Чукотка. В Восточной Сибири есть несколько горных цепей (Верхоянск, Черский и Момский) с вершинами, высота которых более 2500 м. Вся территория Арктики России, составляет примерно 5,5 x 10⁶ км²[20].

Многочисленные острова российской Арктики покрывают территорию в 135500 км². Самая большая из них – архипелаг Новая Земля с двумя основными островами. Север острова-гористый, около половины территории, площадью 48 000 км², покрыто ледниками и небольшой ледяной шапкой. Южная часть острова, меньше (33 000 км²). Она достаточно свободна ото льда и характеризуется крупными прибрежными равнинами, особенно в южных районах.

Арктика Аляски, простирается на площади 1,4 x 10⁶ км²[20], где преобладают бурные горные цепи, которые располагаются по всему штату с севера на юг, достигая максимальной высоты 6194 м (Гора МакКинли). Обширные ледники встречаются в юго-центральных и юго-восточных горах. Эти хребты уступают место предгорьям и низменным прибрежным тундровым равнинам на юго-западе и вдоль северного побережья Аляски. Простирающиеся к западу от Тихого океана за Аляскинским полуостровом, расположены вулканические Алеутские острова.

Канадский арктический ландшафт занимает площадь около 4x10⁶ км², состоящий из северной части Канады на юге и Арктического архипелага на севере. На самой западной границе материка находится плато Юкон, состоящее из возвышенностей с долинами и отдельными горами. К юго-западу

от этого плато находятся Прибрежные горы с обширными ледниками. На северо-востоке-это горы Маккензи. Внутренняя равнина США начинается с горных хребтов, состоящих из плато высотой от 1200 м на западе до 150 м на востоке[20]. Этот регион, который пересекает река Маккензи, характеризуется обширными водно-болотными угодьями. Большой Great Bear и Great Slave Lakes озера простираются от Interior Lowlands на восток, в Канадский Щит. Щит простирается до восточного побережья и содержит многочисленные озера и обширные просторы Гудзонова залива.

Канадский Арктический архипелаг простирается далеко на север материка. Плоскость к холмистой местностью характерна для высоких арктических островов в Западном и Центральном архипелаге (например, Бэнкс, Мелвилл, Виктория, Батерст и Принс-оф, Острова Уэльса). Северо-восточные острова (Баффин, Девон, Элсмир и Аксель-Хейберг) содержат изрезанные, покрытые льдом горы высотой до 2000 м. Острова в западном и центральном архипелаге (например, Бэнкс, Мелвилл, Виктория, Батерст и ПринцУэльские острова). Северо-восточные острова (Баффин, Девон, Ellesmere и Axel Heiberg) содержат прочные, покрытые льдом горы высотой до 2000 м.

Жизнь в Арктике

Морская экосистема

Бассейн Арктического океана самый мелкий из 5 океанских бассейнов на Земле, также он наименее солёный из-за малых испарений и огромных притоков пресной воды из рек и ледников.

Устье рек, образующиеся ледники и постояннодвигающиеся течения океана вносят свой вклад в живую морскую экосистему Арктики. Холодная, циркулирующая вода богата нутриентами и микроскопическими организмами(такими, как фитопланктон и водоросли), которым нужно расти. Для морских животных в Арктике очень благоприятные условия. Первичные потребители, такие как медузы и креветки, питаются планктоном, основой Арктической морской пищевой цепи. Группа вторичных потребителей

включает себя морских рыб, птиц(таких, как чайки и тупики) и широкое разнообразие усатых китов, включающих гигантский синих китов и гренландских китов.

Третья группа потребителей-это животные, которые питаются по большей части другими хищниками и включают в себя: зубатых китов и дельфинов(такие, как косатки и нарвалы) и ластоногих, таких, как морские котики, морские львы и моржи.

Падальщики(в том числе, некоторые виды акул и крабов) и редуценты, такие, как морские черви и водоросли, перерабатывают мёртвые и разлагающиеся организмы. Таким образом, происходит циркуляция пищевой цепочки морской экосистемы Арктики.

Поверхностная экосистема

Различные географические объекты региона Арктики обеспечивают разнообразие экосистемы. В Арктике находятся вершины хребта Брукс в западной части Северной Америки, бесчисленные ледяные щиты Гренландии, изолированный острова архипелага Шпицберген, фьорды северной Скандинавии, зелёные плато и богатые реками долины северной Сибири. Хотя, некоторые леса располагаются неподалёку от Арктического круга, растительная жизнь по большей части ограничена травами, камышами и растительностью тундры, такой, как мхи и лишайники. У этих автотрофов есть способность выживать, несмотря на то, что они покрыты снегом и льдом большую часть года. В Арктике распространены такие насекомые, как комары и моли, особенно в весенние и летние периоды, когда тающий лёд образует водоёмы. Насекомые и их личинки являются важной составляющей пищей для птиц, таких, как крапивниковые и бекасовые, и пресноводной рыбы. Первичные потребители пищевой цепи в регионе варьируется от крошечных лемингов до огромных овцебыков. Один из самых распространённых арктических травоядных-это северный олень. Группа вторичных потребителей включает в себя арктических лисиц и хищных птиц, таких, как совы и орлы. Полярный медведь, знаменитый сверххищник

Арктики, может охотиться как на суше, так и на морских льдинах. Как и полярный медведь, многие другие животные Арктики-белого цвета: киты белуги, снежные совы, детёныши морских котиков. Такая окраска служит маскировкой среди снега и льда. Многие арктические животные даже меняют свой цвет от сезона к сезону, например: арктические лисицы и арктические зайцы, белоснежно-белые зимой, но линяют и обрастают коричневатым и сероватым цветом в летние месяцы. Даже пушистые белые детёныши морских котиков, в конечном итоге, вырастут и станут тёмно-коричневыми. В таком цвете им лучше сливаться с тёмными водами Арктического океана, вместо ослепляющее белых льдин.

1.2 Анализ циркуляционных особенностей климата арктического региона

Мы опираемся на предыдущие исследования ветровых режимов[22-27] циркуляции Северного Ледовитого океана и их преобразований в быстро меняющихся арктических условиях и расширяем их, уделяя особое внимание выявлению причин и механизмов, ответственных за изменчивость десятилетий, в частности, об отклонении от климатологической изменчивости десятилетий с 1997 года. Циркуляция атмосферы, дрейф льда и ветровые движения океана динамически связаны и ответственны за значительные изменения в состоянии и изменчивости параметров окружающей среды Арктики. Наличие относительно подвижного морского льда, обусловленного ветрами и океанскими течениями и регулирующего взаимодействие атмосферы и океана, является ключевым фактором, влияющим на климат Арктики и изменения в сезонном, межгодовом и десятилетнем масштабе времени. Это было признано с эпохи Нансена по исследованию Арктики, и изучалось и обсуждалось в многочисленных публикациях. Далее мы рассмотрим прошлые исследования арктической изменчивости десятилетий и определения режима циркуляции, чтобы

представить нашу гипотезу, которая может объяснить нарушение ранее наблюдаемой регулярной десятилетней изменчивости.

а) изменения климата Арктики: 1948–2013 годы

Примерный набор различных данных о климате Арктики доступен приблизительно с 1948 года; Эти наблюдения были недавно обобщены[28,29], чтобы показать, что за последние два-три десятилетия температура арктической атмосферы и океана увеличилась, объем и площадь морского льда уменьшились, таяние вечной мерзлоты, шторм усилился, уровень моря возросла, и биологические процессы стали более сложными и разнообразными.

Мы начнем с оценки временных рядов параметров окружающей среды Арктики, в том числе протяженности морского льда, температуры воздуха, атмосферного давления на уровне моря (SLP), уровня моря, геострофического ветра, стока рек, потока пресной воды Гренландии и ареального ледового потока, а также оценки временного ряда в Арктике. через пролив Фрама (рисунок 1). Мы применяем среднее значение за 30 лет ко всем годовым данным (черные линии на рисунке 1.1) для изучения общих тенденций в этих параметрах с пониманием того, что «климат» определяется как погода, усредненная за 30-летний период (толстые черные линии на рисунке 1.1) в соответствии с рекомендациями Всемирной Метеорологической Организации и МГЭИК[29]. Это усреднение дает информацию об изменениях климата примерно с 1963 по 1998 год и показывает, что климатологические годовые значения в Арктике: (а) протяженность морского льда уменьшилась примерно на 14%; (б) температура воздуха повысилась на 10% (с $-12,55^{\circ}\text{C}$ в 1963 г. до $-11,30^{\circ}\text{C}$ в 1998 г.); в) уровень SLP(давление на уровне моря) снизился примерно на 0,7 гПа; (г) уровень моря поднялся примерно на 0,06 м; (д) скорость геострофического ветра над Северным Ледовитым океаном увеличилась примерно на 15%; (е) сток рек Евразии увеличился на 14%; (ж) поток пресной воды из Гренландии быстро увеличился с 1980-х годов с ускорением после 1997 года (нынешние

значения составляют около 60% от величины расхода в евразийской реке); и (з) площадь потока льда через пролив Фрама увеличилась на 15%, что должно было оказать существенное влияние на общий объем льда в Северном Ледовитом океане и, в частности, на минимальную протяженность льда в сентябре[29].

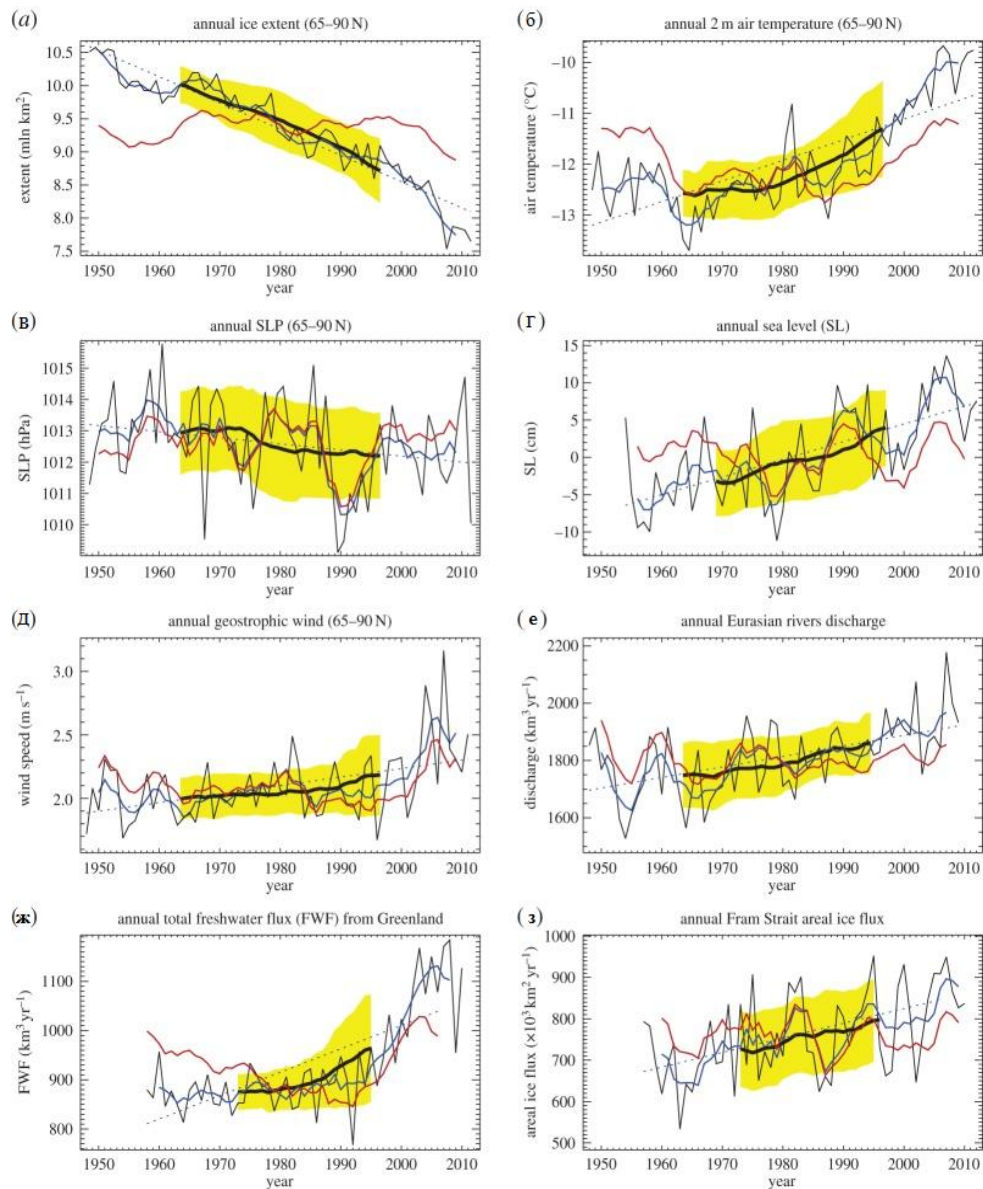


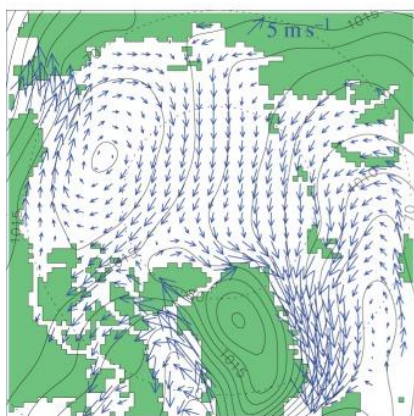
Рисунок 1.1 Временные ряды годовой протяженности льда

Временные ряды годовой протяженности льда, (б) температура воздуха 2 м, (в) SLP, (г) уровень моря, (д) геострофический ветер, (е) сток реки Евразии, (ж) поток пресной воды из Гренландии и (з) ареальный

поток льда в проливе Фрама . Тонкая черная линия изображает годовой, синяя линия показывает 5-летнее среднее значение, красная линия - отклоненное 5-летнее среднее значение, толстая черная линия показывает климатические изменения как 30-летнее среднее значение, пунктирная линия - линейный тренд 1948–2013 гг., а желтая заштрихованная область показывает ± 1 с.д. от 30-летнего среднего ряда.

Изменения в атмосферной циркуляции между климатическим состоянием 1948–1977 гг. и 1984–2013 гг. (В центре с усреднением за 30 лет соответственно в 1963 и 1998 гг.) Не являются визуально значительными (рисунок 2), хотя наблюдается тенденция к интенсификации циклонического атмосферного движения из-за сокращения SLP над Северным Ледовитым океаном и сокращения площади Арктического максимума, сосредоточенного над регионом Бофорта Жира (рисунок 1.2 , левая нижняя панель). Усредненный геострофический ветер усиливается вдоль норвежского побережья (рисунок 1.2 , правая нижняя панель), по-видимому, увеличивая атлантический приток воды (и перенос тепла) в Баренцево море[30]. В то же время в более поздний период ветры усиливаются в районе пролива Фрама, увеличивая поток морского льда от Северного Ледовитого океана к Гренландскому морю и в проливах северного Канадского архипелага, потенциально увеличивая лед и поток воды из Северного Ледовитого океана в сторону залива Баффина и Лабрадорского моря[30].

А.



Б.

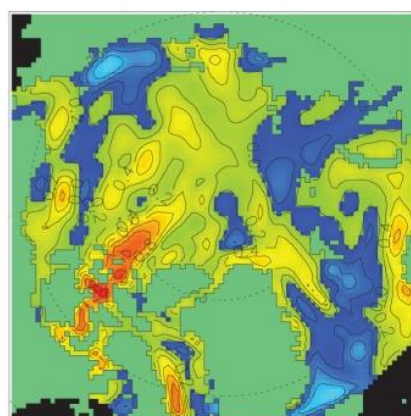
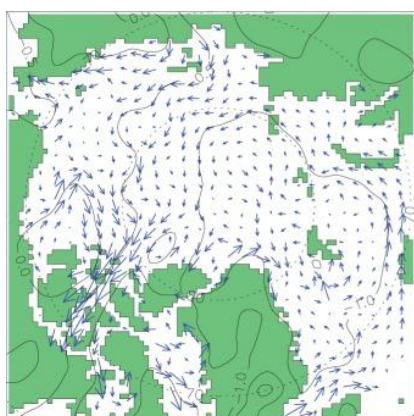


Рисунок 1.2 Изменения в атмосферной циркуляции между климатическим состоянием 1948–1977 гг. и 1984–2013 гг.

Верхние панели показывают климатические годовые SLP (гПа) и геострофический ветер (м с^{-1}) за 1948–1977 гг. (А) и за 1984–2013 гг. (Б). Нижние панели показывают различия в SLP и геострофическом направлении ветра между климатом Б и А (слева) и изменения в геострофической

скорости ветра (справа). Снижение скорости ветра изображено в голубоватых тонах.

Предыдущий анализ подтверждает общее согласие ученых о том, что в Арктике происходят изменения основных параметров окружающей среды, и во многих исследованиях рассматривались наблюдаемые изменения, обратная связь с климатом и их последствия. Тем не менее, остается неполное понимание механизмов, ответственных за наблюдаемые изменения в масштабах десятилетия. На рисунке 1.1 показана значительная изменчивость всех параметров в диапазоне временных масштабов менее 30 лет, которая наблюдается в Арктике с 1948 года. Тенденции и изменчивость большинства параметров, по-видимому, ускорились относительно недавно (примерно с 1980-х - 1990-х годов; рисунок 1.1), и уже влияют на климатические кривые, показанные на рисунке 1.1 (сравните наблюдаемые и отклоненные временные ряды). Однако мы не можем оценить текущее (2014 г.) климатическое состояние, пока у нас нет наблюдений, охватывающих 2000–2029 гг. В этом смысле, например, судьба арктического морского льда в течение, по крайней мере, следующего десятилетия остается весьма неопределенной, несмотря на предсказания сезонно свободного ото льда Арктики в ближайшее время. Эта проблема неопределенности хорошо известна и обусловлена короткими (в климатических временных масштабах) данными наблюдений и более длительной естественной изменчивостью климатической системы Арктики.

1.3 Режим изменчивости облачности и длинноволновой атмосферной радиации

Связь между облаками и поверхностными радиационными потоками над Северным Ледовитым океаном изучается путем проведения серии экспериментов по моделированию с использованием одномерной термодинамической модели морского льда. Определена чувствительность

потока излучения к возмущениям во фракции облаков и оптической глубине облаков. Эти эксперименты иллюстрируют существенное влияние облаков на состояние морского льда и на поверхностные радиационные потоки. Воздействие облаков на суммарный поток излучения на поверхности Северного Ледовитого океана очень непростое, особенно из-за присутствия в основе морского льда. Из-за изменений альбедо поверхности и температуры, связанных с изменением свойств облаков, существует сильная нелинейность между свойствами облаков и поверхностными радиационными потоками. Результаты модели оцениваются в трех различных контекстах:

- 1) чувствительность радиационного баланса поверхности Арктики к неопределенности в свойствах облаков;
- 2) влияние межгодовой изменчивости характеристик облаков на потоки поверхностной радиации и характеристики поверхности морского льда;
- 3) влияние изменения климата и связанных с этим изменений свойств облаков на потоки поверхностной радиации и характеристики морского льда.

1.4 Первые измерения солнечной радиации в Арктике

Спутниковые приборы NASA наблюдали заметное увеличение солнечной радиации, поглощаемой в Арктике с 2000 года - тенденция, которая согласуется с устойчивым уменьшением арктического морского льда в течение того же периода.

В то время, как морской лед в основном белый и отражает солнечные лучи, океанская вода темна и с большей скоростью поглощает солнечную энергию. Снижение альбедо в регионе - его отражательная способность, по сути - была основной проблемой среди ученых, так как летний арктический морской ледяной покров начал сокращаться в последние десятилетия. Поскольку больше солнечной энергии поглощается климатической системой, оно усиливает продолжающееся потепление в регионе, которое более выражено, чем где-либо еще на планете.

С 2000-го года уровень поглощенной солнечной радиации в Арктике в июне, июле и августе увеличился на пять процентов, сказал Норман Лоэб из Исследовательского центра Лэнгли NASA, Хэмптон, Вирджиния. Измерения производятся приборами NASA "Облака" и приборами системы лучистой энергии Земли, которые летают на нескольких спутниках.

Хотя, пятипроцентное увеличение может показаться не таким уж большим, учтите, что в тот же период ставка в целом осталась практически неизменной. Ни в одном другом регионе Земли нет тенденции к потенциальным долгосрочным изменениям.

При усреднении по всему Северному Ледовитому океану увеличение скорости поглощенной солнечной радиации составляет около 10 Вт на квадратный метр. Это эквивалентно дополнительной 10-ваттной лампочке, постоянно светящейся на каждые 10,76 квадратных футов Северного Ледовитого океана в течение всего лета.

По словам Лоэба, в регионе этот рост еще выше. В таких районах, как море Бофорта, где наблюдалось наиболее заметное уменьшение площади покрытия морским льдом, наблюдается увеличение мощности поглощенной солнечной радиации на 50 Вт на квадратный метр.

«Достижения в нашем понимании изменения климата в Арктике и основополагающих процессов, которые на него влияют, будут в решающей степени зависеть от высококачественных наблюдений, подобных этим от CERES», - сказал Леб.

Как регион, Арктика демонстрирует более драматические признаки изменения климата, чем любое другое место на планете. К ним относятся потепление температуры воздуха в два-три раза выше, чем на остальной планете, и потеря площади морского льда в сентябре со скоростью 13 процентов за десятилетие.

Хотя эти измерения CERES могут в конечном итоге стать еще одним из этих признаков резкого изменения климата, ученые прямо сейчас говорят,

что получили минимум данных, необходимых для определения того, что происходит в долгосрочной перспективе.

Получение данных за 15 лет позволит ученым лучше оценить, выходит ли недавняя тенденция за пределы естественной изменчивости, сказала Дженнифер Кей (ученый из Института кооперативных исследований и наук об окружающей среде Университета Колорадо).

«Нам нужны длинные временные ряды для обнаружения сигналов изменения климата по внутренней изменчивости. Например, наблюдаемая потеря морского льда в течение последних 30 лет не может быть объяснена одной только естественной изменчивостью». Кей сказал: «Пятнадцать лет - это долго, но климат часто определяется, как среднее за 30 лет - поэтому мы только на полпути с наблюдениями CERES».

Кей и его коллеги, также проанализировали спутниковые наблюдения арктических облаков в течение того же 15-летнего периода. Исследования Кей показывают, что летняя облачность и вертикальная структура не подвержены влиянию летних потерь морского льда. Удивительно, но наблюдения показывают, что яркая поверхность морского льда автоматически не заменяется яркими облаками. Действительно, потеря морского льда, а не облаков, объясняет увеличение поглощенной солнечной радиации, измеренное CERES.

По словам Уолта Мейера, ученого по морскому льду из Центра космических полетов имени Годдарда NASA, Гринбелт, штат Мэриленд, увеличение поглощенной солнечной радиации вызывает многочисленные изменения в покрытии морского льда. Два из этих изменений включают время начала сезона таяния каждый год и потерю более старого, более толстого морского льда.

По словам Майера, начало сезона таяния в высокой Арктике происходит в среднем на семь дней раньше, чем в 1982 году. Более раннее таяние может привести к увеличению поглощения солнечной радиации. Это один шаг в потенциальном цикле обратной связи потепления, приводящего к

плавлению, таянию, приводящему к увеличению поглощения солнечной радиации и повышенному поглощению, ведущему к усиленному потеплению.

С 2000 года Арктика потеряла 1,4 миллиона квадратных километров более старого льда, толщиной более 3 метров, который в течение зимы по существу был заменен льдом толщиной менее 2 метров, согласно данным, предоставленным Марком Чуди в университете Колорадо. Майер ещё раз сказал, что эта тенденция является шагом в цикле обратной связи.

«Наличие более молодого и, следовательно, более тонкого льда в зимний период делает систему более уязвимой к потере льда во время летнего сезона таяния», говорит Майер.

Приборы CERES в настоящее время летают на спутниках Terra, Aqua и Suomi-NPP. Спутник Terra был запущен 18 декабря 1999 года, а CERES впервые начал собирать данные по Арктике в 2000 году, поэтому в 2015 году будет 15 лет непрерывных измерений CERES над Арктикой.

Приборы включают три радиометра - один для измерения солнечного излучения, отраженного Землей (коротковолновой), один для измерения теплового инфракрасного излучения, испускаемого Землей (длинноволновой), и один для измерения всего исходящего излучения, испускаемого или отраженного.

Глава 2. Оценка радиационного режима и мутности атмосферы в Арктике

2.1 Анализ годового хода составляющих радиационных режим

Первые обобщения и выводы по радиационному климату Арктики касаются отдельных составляющих и общих условий, создающих особенности режима радиации в высоких широтах. Ценный вклад в изучение радиации в арктических районах внес Н. Н. Калитин.

Особое внимание Калитин уделял таким вопросам, как прозрачность атмосферы[1], абсолютная и относительная продолжительность солнечного сияния, роль рассеянной радиации в общем приходе солнечного тепла как важнейшая характеристика радиационного климата Арктики, зависимость рассеянной радиации от характера облачности, интенсивность радиации в полуденное и полуночное время[2], радиационные свойства снега и льда и т. д. По материалам наблюдений Второго Международного полярного года Калитин установил зависимость радиации от высоты солнца и построил графики суточного хода прямой радиации для полярных станций[1]. Им также были рассчитаны значения суммарной радиации в высоких широтах при идеальных, безоблачных и действительных условиях. Наблюдения полярных станций до 1937—1939 гг. были обобщены Калитиным в 1940 г. в работе[1], где рассматриваются месячные и сезонные величины радиации и проведено сопоставление их с данными умеренных широт. Изучению радиационных свойств снега и льда (отражательная и пропускающая способность), а также возможности активного воздействия на таяние льда с целью ускорения таяния посвящены работы Н. Т. Черниговского. В зарубежных работах 30-х годов исследуется главным образом ко-

ротковолновая радиация (Онгстрем, Лунелунд, Аурен и др.). Онгстрем и Олсон, так же, как и Мосби, большое внимание уделяют соотношению прихода возможной и действительной радиации на различных широтах, как характеристику радиационных свойств облаков, а также воздействию отражательной способности подстилающей поверхности на приход суммарной радиации.

Поступление лучистой энергии Солнца на земную поверхность, помимо излучательной способности Солнца, и расстояния его от Земли, зависит от угла падения радиации, т. е. высоты солнца над горизонтом в тот или иной момент времени, прозрачности атмосферы, продолжительности солнечного сияния за определенный период времени, количества и физических свойств облаков и т. д. Чем больше высота солнца, выше прозрачность атмосферы, продолжительнее солнечное сияние, меньше облачность, выше пропускающая и рассеивающая способность облаков, тем больше приход солнечной радиации, и наоборот. Для высоких широт земного шара характерны относительно малые высоты солнца, и имеющее место только в этих районах явление полярного дня и полярной ночи. В период полярной ночи, когда солнце длительное время не поднимается над горизонтом, приток солнечной радиации отсутствует вообще. В день зимнего солнцестояния (22 декабря), полярная ночь в Арктике распространяется до Северного полярного круга. Максимальные же высоты солнца, приходящиеся на полдень Летнего солнцестояния (21 июня), в Арктике невелики и составляют на широте полярного круга $46^{\circ}54'$, а на Северном полюсе лишь $23^{\circ}27'$. Но если, в летний период в экваториальных, тропических и умеренных широтах солнце к концу дня опускается за горизонт, то в арктических районах в это время года оно не заходит и приток солнечной радиаций непрерывен в течение суток, причем полуночные высоты солнца возрастают с увеличением широты места.

Высота солнца над горизонтом определяет интенсивность прямой солнечной радиации. Естественно, что приток радиации при ясном небе

зависит от географического положения места и времени года, поскольку высота солнца, как уже было показано, изменяется как по широте, так и по сезонам. Наиболее простой характеристикой радиационного режима местности является полуденная интенсивность прямой солнечной радиации. Приход прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность в годовом ходе увеличивается к июню по мере возрастания высоты солнца. Средние значения этой радиации в Арктике в мае—июле составляют на широте $85\text{—}90^\circ$ $1,10\text{—}1,20$ кал/см мин., а южнее $1,20\text{—}1,30$ кал/см мин. Максимальные величины прямой радиации на перпендикулярную поверхность в Центральной Арктике достигают $1,30\text{—}1,35$ кал/см мин., а в прибрежной и материковой Арктике $1,40\text{—}1,50$ кал/см² мин. Как видим, наибольшие значения интенсивности прямой солнечной радиации в Арктике приходятся в основном на июнь, т. е. на месяц, когда полуденные высоты солнца достигают максимальных значений. В умеренных же широтах максимум прямой радиации смещается на весенние месяцы, несмотря на продолжающееся увеличение высот солнца, что связано с воздействием возрастающего влагосодержания и запыленности воздуха в умеренных широтах в летний период года.

Для естественной поверхности большее значение имеет приход радиации на горизонтальную поверхность. Вполне понятно, что поступление радиации на горизонтальную поверхность, меньше прихода прямой солнечной радиации на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам. Так, в первые месяцы появления солнца, приток радиации на горизонтальную поверхность в 10 раз ниже, чем на перпендикулярную. Наибольший приход прямой радиации на естественную поверхность имеет место, в июне в южных арктических широтах (70%). В Центральном полярном бассейне прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность в полдень арктического лета составляет лишь 40—50% от величины радиации на перпендикулярную поверхность.

Абсолютные величины прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность в полдень составляют в мае — июле 0,40—0,70 кал/см² мин. в Центральной Арктике и 0,70— 0,90 кал/см² мин. в районах южнее 80° с. ш. Максимальные значения этой радиации достигают 1,00 кал/см² мин.

Значения полуденной интенсивности прямой солнечной радиации в Арктике постепенно снижаются с возрастанием широты места, что связано с общим уменьшением к полюсу высоты солнца в полдень. Как уже упоминалось, в период полярного дня приток солнечной радиации в Арктике непрерывен в течение суток.

Значения 24-часовой интенсивности прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность изменяются в июне от 0,40 кал/см² мин. на широте 70° до 1,10 кал/см² мин. близ полюса. Максимальные 24-часовые значения этой радиации составляют 1,30 кал/см² мин. в Центральной Арктике. Приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность в полночь в южных арктических районах составляет лишь сотые доли кал/см² мин, а у полюса 0,40— 0,45 кал/см² мин., т. е. столько же, сколько и в полуденные часы.

Поступление радиации на горизонтальную поверхность в полночь на широте 70° , в 10 раз меньше, чем на перпендикулярную поверхность в это же время суток, а у полюса составляет 40%.

Значения интенсивности прямой солнечной радиации в ночные часы в противоположность полуденным значениям интенсивности повышаются по направлению к Центральной Арктике, поскольку высоты солнца в полночь увеличиваются, с возрастанием широты места, тогда как полуденные высоты солнца, наоборот, уменьшаются. Можно заметить, что, несмотря на относительно малые высоты солнца, средние и максимальные полуденные значения интенсивности прямой солнечной радиации в Арктике с мая по июль незначительно меньше, а иногда даже больше значений радиации в умеренных и субтропических широтах. Особенно это хорошо проявляется

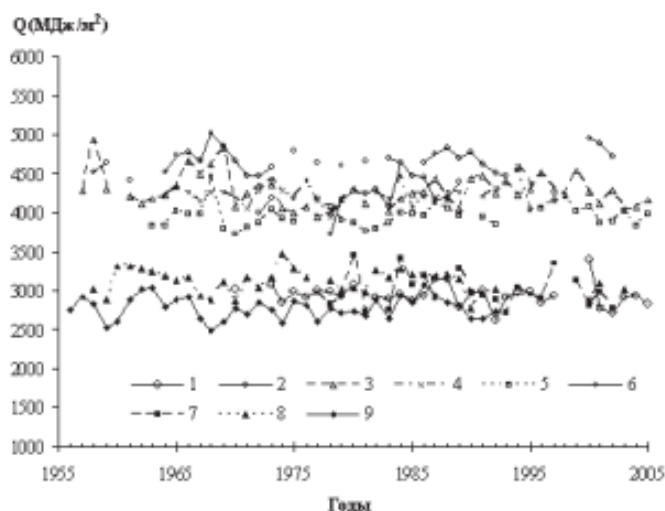
при сопоставлении данных, полученных по наблюдениям при одних и тех же массах воздуха(T), т. е. при одинаковых высотах солнца. Так, например, при массе воздуха $T=2$, интенсивность прямой радиации в Арктике равна $1,20'—1,25$ кал/см[^] мин., тогда как, в умеренных широтах с апреля по август она находится в среднем в пределах лишь $1,00—1,15$ кал/см[^] мин. Это явление тесно связано с прозрачностью атмосферы. Как известно, благодаря меньшей запыленности и меньшему влагосодержанию воздуха прозрачность атмосферы в Арктике значительна. Прозрачность воздуха в Арктике изучалась рядом исследователей: Трайзелиусом, Н. Н. Калитиным[1], А. С. Каледкиной, С. В. Зверевой и др.

Среднегодовые значения коэффициента прозрачности для районов Арктики составляют примерно $0,80$, тогда как для умеренных широт характерны величины менее $0,78—0,79$. Разница в величинах прозрачности атмосферы сравниваемых районов особенно хорошо прослеживается в летние и осенние месяцы, т. е. когда запыленность и влажность воздуха в южных широтах увеличиваются. В холодный период года прозрачность атмосферы в Арктике с широтой меняется несколько меньше. Это связано не столько с распределением абсолютной влажности воздуха, сколько с увеличением зимней конденсационной мутности, поскольку при низких температурах в Арктике воздух повсеместно близок к насыщению.

2.2 Расчёт параметров мутности и прозрачности в Арктике

В работе приведены результаты исследований многолетней динамики суммарной солнечной радиации и характеристик спектральной и интегральной прозрачности атмосферы в южной и северной полярных областях (ЮПО и СПО). Для анализа были использованы месячные и годовые суммы суммарной радиации[3], а также результаты наблюдений за интегральной и спектральной прозрачностью атмосферы, полученные на отдельных российских антарктических и арктических станциях за

длительные периоды наблюдений. Данные по прозрачности были сопоставлены с данными российской высокогорной станции фоновое мониторинга атмосферы, расположенной на 43° с.ш.в Арктики. Радиационный режим полярных областей определяется их географическим положением, структурой атмосферы и облачности, характером подстилающей поверхности [2–5, 7, 8]. Суммарная солнечная радиация зависит от прозрачности атмосферы, количества и типа облачности и, отчасти, от свойств подстилающей поверхности. Следует отметить, что радиационный климат Арктики слабо подвержен антропогенным воздействиям, поэтому его изучение актуально для анализа естественных изменений климата. На рис. 2.1 приведены годовые суммы суммарной радиации (Q) на антарктических и арктических российских станциях за многолетние периоды работы, различные для каждой станции.



.Рисунок 2.1 Изменения годовых сумм суммарной радиации на станциях южной и северной полярных областей: 1 – Беллинсгаузен, 2 – Восток, 3 – Ленинградская, 4 – Мирный, 5 – Молодежная, 6 – Новолазаревская, 7 – Архангельск, 8 – о. Врангеля, 9 – м. Челюскин

Обращает на себя внимание, что, несмотря на существенные отличия между станциями в обеих полярных областях, ряды данных объединились в две совокупности – для антарктических (верхняя) и арктических (нижняя) станций. Суммарная радиация на антарктических станциях колеблется в интервале 3723–5033 МДж/м², а на арктических станциях суммы Q существенно ниже, максимальный интервал их изменений составляет 2481–3469 МДж/м². По-видимому, столь значительная разница в суммарной радиации связана с большей облачностью и влажностью в Арктике по сравнению с Антарктидой. Единственной станцией ЮПО, данные которой попали в «арктическую совокупность», является станция Беллинсгаузен. Она расположена на оконечности Антарктического полуострова (62,2° ю.ш., 58,9° з.) и в силу специфики метеорологических условий, практически, в течение всего года, отличается очень высокой облачностью (8–9 баллов) и высокой влажностью. Доля рассеянной радиации составляет здесь более 70 %. Основной особенностью межгодовой изменчивости суммарной радиации в обеих полярных областях является отсутствие за 50-летний период статистически значимых положительных или отрицательных трендов в поступлении суммарной радиации, несмотря на определенные отличия в колебаниях Q, имеющихся на каждой станции. При этом на изменении суммарной радиации (Q) практически не сказываются колебания прозрачности атмосферы, даже очень значительные, связанные с вулканической деятельностью. В этих случаях уменьшение прямой радиации компенсируются возрастанием рассеянной радиации. Наибольший годовой приход суммарной радиации наблюдается в Арктике (ст. Восток, высота 3,5 км над уровнем моря), где мало влагосодержание атмосферы и вся поверхность покрыта снегом и льдом, а также преобладает облачность верхнего яруса. Относительный вклад прямой и рассеянной радиации в суммарную в Антарктиде мало изменяется от месяца к месяцу. Доля рассеянной радиации в приходе суммарной в Центральной Антарктиде 20–25 %. На прибрежных станциях Арктики годовой приход суммарной радиации

несколько меньше, что во многом связано со спецификой формирования облачности над Арктикой. Доля рассеянной радиации здесь 45–50 %.

2.3 Значения спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации

В Российской Арктике по характеру общей циркуляции можно выделить 3 района – Западный, Центральный и Восточный. На рис. 2.1 их соответственно представляют станции Архангельск, мыс Челюскин (обсерватория им. Федорова) и о. Врангеля[6]. Для Западного района характерна высокая повторяемость северо-атлантических циклонов, приводящих к увеличению облачности и росту аэрозольного загрязнения. Центральный район зимой находится под воздействием сибирского антициклона, что проявляется в более низкой температуре, меньшей облачности (хотя летом облачность значительна) и более редких осадках. Восточный район зимой подвержен влиянию тихоокеанских циклонов, повторяемость которых меньше, нежели повторяемость циклонов в Западном районе. Летний период для Арктики является наиболее облачным. Облачность может снижать поступление прямой радиации до 70–80 %, увеличивая при этом рассеянную радиацию. В результате суммарная радиация уменьшается лишь на 20–50 % в зависимости от сезона. Соотношение прямой и рассеянной радиации в приходе суммарной радиации существенно меняется в зависимости от района. Однако на большей части Арктики в течение года рассеянная радиация по величине превосходит прямую. На приход суммарной радиации влияет общая (или интегральная) прозрачность атмосферы. Ее показателем является коэффициент прозрачности P_2 , приведенный к оптической массе атмосферы $m = 2$. Он вычисляется по данным интегральных измерений потоков прямой солнечной радиации на уровне земной поверхности и характеризует интегральное ослабление солнечного излучения, как за счет

аэрозольной компоненты, так и за счет релеевского рассеяния и поглощения атмосферными газами (в первую очередь – водяным паром).

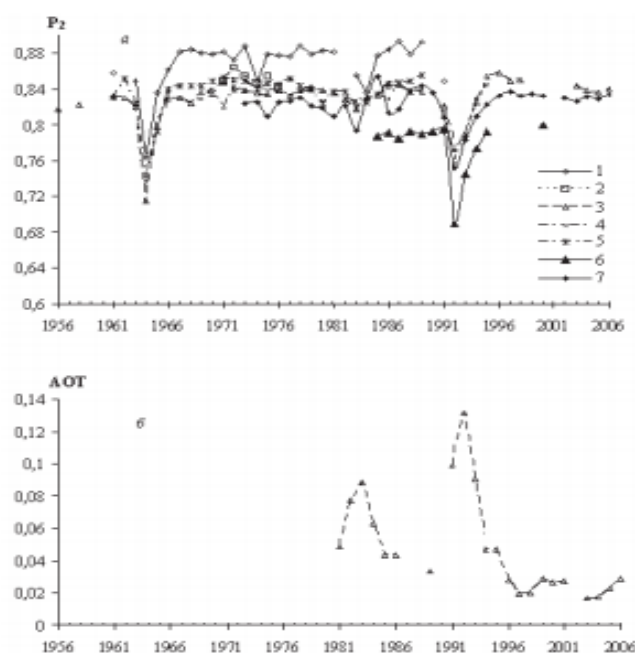


Рисунок 2.2 Межгодовая изменчивость прозрачности атмосферы (а): на антарктических станциях (1 – Восток, 2 – Ленинградская, 3 – Мирный, 4 – Молодежная, 5 – Новолазаревская) и на о-ве Врангеля, 6 – в Арктике и на станции Шаджатмаз, 7 – на Сев. Кавказе) и многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщины атмосферы на длине волны 500 нм (б) в obs. Мирный (Антарктида)

На рис. 2.2а приведена межгодовая изменчивость прозрачности атмосферы на антарктических станциях. На этот же график нанесены среднегодовые значения P_2 , полученные в Восточной Арктике на о. Врангеля и для сравнения характеристики прозрачности по среднеширотной станции фонового мониторинга Шаджатмаз, действующей на Северном Кавказе, за период с 1973 по 2006 г. Из рис. 2.2а хорошо видно, что самая высокая прозрачность характерна для антарктической станции Восток. Среднегодовые значения P_2 колеблются относительно среднего уровня прозрачности $P_2 = 0,880$. Аналогичные значения на остальных станциях

ЮПО варьируют относительно $P2 = 0,840$. В последнее десятилетие значения $P2$ на станциях ЮПО находятся на уровне фоновых значений. В предшествующие десятилетия прозрачность атмосферы в Антарктиде существенно уменьшалась лишь после сильных вулканических извержений: Агунг в марте 1963 г., ЭльЧичон в апреле 1982 г. и Пинатубо в июне 1991 г. В межвулканические периоды как прозрачность атмосферы, так и аэрозольное ослабление были стабильны и находились в пределах естественной изменчивости их невозмущенных значений. Как следует из рис. 2а, конфигурация межгодовой изменчивости $P2$ в Арктике абсолютно повторяет таковую на антарктических станциях, но на протяжении всего периода наблюдений остается несколько более низкой, чем в Антарктиде.

Среднее многолетнее значение $P2$ составляет 0,780. Прозрачность на среднеширотной фоновой станции Шаджатмаз колеблется относительно среднего уровня 0,820, а характер межгодовой изменчивости идентичен станциям ЮПО и СПО. В настоящее время станция Шаджатмаз является единственной среднеширотной российской фоновой станцией, отражающей глобальные изменения прозрачности атмосферы на фоновом уровне. Анализ данных о прозрачности атмосферы во всех рассматриваемых регионах показал отсутствие значимого тренда этих параметров в периоды стабильного состояния атмосферы.

Непосредственную информацию об аэрозольном ослаблении атмосферы дают только спектральные наблюдения. Таковые проводились в Антарктиде в обсерватории Мирный по немецкому спектрофотометру AVAS с набором интерференционных фильтров, охватывающих спектральную область 350–1040 нм.

Определяемые при этом спектральные оптические толщины дают возможность оценить многолетнюю динамику уровней аэрозольного загрязнения в южной полярной области. Для примера на рис. 2б приведена межгодовая изменчивость среднегодовых значений аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы на длине волны 500 нм. Этот показатель

характеризует аэрозольное ослабление в том спектральном диапазоне, где аэрозоль является главным компонентом атмосферы, ослабляющим солнечную радиацию. Из рис. 2.2б хорошо видно, насколько велик отклик значений оптической толщины атмосферы на поступление в атмосферу продуктов крупных вулканических извержений, таких как Эль-Чичон (апрель 1982 г.) и особенно Пинатубо (июнь 1991 г.).

Следует также отметить, что уровень аэрозольного ослабления за 2003–2006 гг. практически самый низкий за весь рассматриваемый период наблюдений, т.е. атмосфера в эти годы была очень чистой. В 2007 г. отмечено незначительное, по сравнению с предшествующими четырем годами, увеличение АОТ, что на данном этапе требует дальнейшего исследования. Измеряемые в Антарктиде значения спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации являются одними из самых низких на Земле и, по существу, характеризуют естественный глобальный фон аэрозольного замутнения атмосферы. За весь период мониторинга их межгодовая изменчивость определялась лишь вулканической деятельностью за счет попадания продуктов мощных вулканических извержений в стратосферу.

В этих случаях аэрозольная оптическая толщина многократно возрастала в сравнении с фоновыми значениями. Прозрачность атмосферы, соответственно, существенно уменьшалась. Длительность периодов с повышенными уровнями замутнения атмосферы составляла 1,5–2 года. Прозрачность арктической атмосферы существенным образом зависит от уровней антропогенных выбросов в атмосферу в умеренных широтах Северного полушария (см., например, [6]).

Известно, что арктическая дымка связана с образованием в зимне-весенний период в подинверсионном слое арктической атмосферы слоя с повышенной концентрацией аэрозолей, которые переносятся в Арктику от источников в умеренных широтах. Пространственный масштаб этого «аэрозольного облака» сопоставим с размерами Арктического региона. После 1985 г. произошло существенное сокращение антропогенных

выбросов в основном за счет сокращения промышленной активности в России. В частности, на 45 % сократился выброс серосодержащих газов, продуктом трансформации которых в значительной степени является антропогенный арктический аэрозоль.

На примере двух арктических станций – м. Желания и о. Врангеля, расположенных в западном и восточном секторах Арктики, – было показано, что в период полярной дымки средняя весенняя (март–май) оптическая толщина атмосферы (ОТА), которая связана с коэффициентом прозрачности P_2 соотношением $ОТА = -\ln P_2$ и также является косвенным показателем аэрозольного загрязнения атмосферы, уменьшилась за 1985–1995 гг. на 21 % на м. Желания и на 18 % на о. Врангеля.

За указанный период получены достаточно тесные корреляционные зависимости между ежегодными выбросами диоксида серы в России и средними весенними значениями оптической толщины атмосферы ОТА (рис. 2.3а). Коэффициенты корреляции составили 0,78 для м. Желания и 0,76 для о. Врангеля.

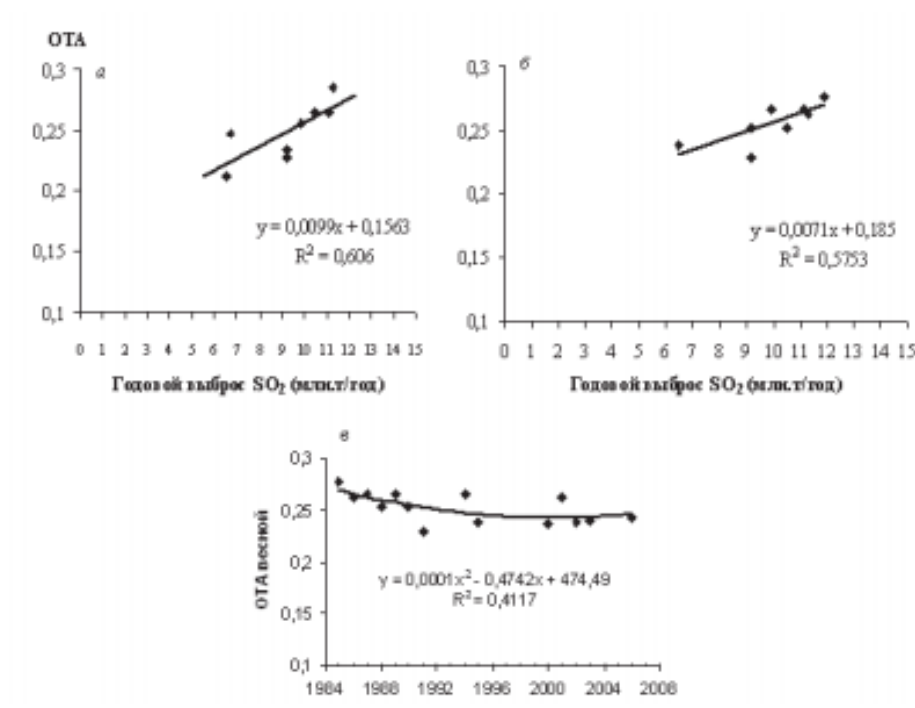


Рисунок 2.3 Корреляционная зависимость между средними весенними значениями оптической толщины атмосферы (ОТА) на станциях м. Желания (а) и о. Врангеля (б) и количеством выбросов SO₂ в России (в) –

изменчивость средних весенних оптических толщин атмосферы на о-ве Врангеля за 1985–2003 гг.

Это даёт право утверждать, что отрицательный тренд средних весенних значений ОТА был в значительной степени связан с уменьшением промышленной активности в России. После 1993 г. на сети арктических метеорологических станций начались сбои в работе. В результате в настоящее время мы не располагаем данными актинометрических наблюдений на м. Желания. Имеются лишь данные, полученные после 2000 г. на станции о. Врангеля. На рис. 3в показана изменчивость средних весенних значений оптической толщины атмосферы на этой станции за 1985–2003 гг. Из него видно, что после 1995 г. средние весенние значения оптической толщины атмосферы на о. Врангеля начали увеличиваться, что хорошо показывает тренд ОТА, аппроксимированный полиномом 2-й степени. Такая тенденция значений ОТА, полученных в период существования арктической дымки, может быть связана с увеличением промышленных выбросов.

Глава 3. Расчёт гелиоэнергетического потенциала для районов Арктики

3.1 Природный гелиоэнергетического потенциал на основе данных продолжительности солнечного сияния

Энергетика играет решающую роль в обществе, обеспечивая социальное развитие и экономический рост. Предоставление адекватных энергетических услуг по доступным ценам, надежным и безопасным для окружающей среды способом, является одним из основных условий устойчивого развития. Около 1,6 млрд. населения земли в настоящее время лишены доступа к электричеству и другим формам коммерческой энергии. Более половины производимой в мире энергии потребляется в развитых странах с населением около 20 % от населения планеты, в то время как на 20 % бедных стран приходится 5 % энергопотребления. Для того, чтобы обеспечить энергопотребление в мире на уровне, хотя бы 30 % от современного потребления в развитых странах, необходимо удвоить генерирующие мощности.

Увеличение численности населения и стремление к повышению уровня жизни требует удвоения производства энергии каждые 30 — 50 лет. Все доступные в настоящее время источники энергии можно классифицировать по трем группам: солнечного происхождения; земного происхождения; космического (гравитационного происхождения). Первая группа энергоисточников основывается на энергии, поступающей на Землю непосредственно от Солнца – солнечной радиации. Значение солнечной постоянной (интенсивности внеатмосферного солнечного излучения) составляет около 1400 Вт/м^2 , а наибольшее значение интенсивности наземного солнечного излучения в южных широтах на уровне моря в ясный день составляет около 1000 Вт/м^2 , т.е. около 30% солнечного излучения задерживается и отражается атмосферой. Если считать, что максимальная интенсивности – 1000 Вт/м^2 – характерна для экваториальной зоны, и принять, что интенсивность вблизи полюсов равна нулю, то средняя

интенсивность солнечного излучения, падающего на обращенную к Солнцу сторону Земли составит около 500 Вт/м^2 . Средний радиус Земли $R_0=6,36 \cdot 10^6$ м, тогда площадь земной поверхности, на которую падает солнечное излучение составляет $2R^2=2,54 \cdot 10^{14} \text{ м}^2$ и средняя мощность поступающего на земную поверхность солнечного излучения составляет $1,3 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$.

Часть падающего на поверхность Земли солнечного излучения расходуется на испарение воды мирового океана, т.е. энергия аккумулируется в облаках. Подсчитано, что годовое испарение воды со всей поверхности Земли составляет 472000 км^3 . Средняя по Земле температура океанской воды составляет $17,4 \text{ оС}$. Удельная теплота испарения воды при температуре 100 оС составляет 2360 Дж/г , удельная теплоемкость морской воды равна приблизительно $4,2 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$. Следовательно, в год в облаках запасается энергия $E=(100-17,4) \cdot 4,2 \cdot 4,72 \cdot 10^{20} + 2,36 \cdot 10^3 \cdot 4,72 \cdot 10^{20} = 1,28 \cdot 10^{24} \text{ (Дж)}$, что соответствует мощности около $4 \cdot 10^{16} \text{ Вт}$. Часть этой энергии, в результате выпадения осадков на сушу, реализуется, как энергия текущей воды – рек и ручьев, а также как энергия градиента солености между морской и пресной водой. Другая часть солнечного излучения участвует в производстве биомассы – процессе фотосинтеза. Считается, что общий сухой вес биомассы планеты – всех сухопутных и морских растений и животных – может достигать величины $2,4 \cdot 10^{15} \text{ кг}$ при 10% годового прироста. Таким образом, годовое производство биомассы составляет приблизительно $2,4 \cdot 10^{14} \text{ кг}$.

Принимая теплоту сгорания сухой биомассы 20 ГДж/т , получаем мощность процесса производства биомассы равную приблизительно $1,5 \cdot 10^{14} \text{ Вт}$.

Оставшаяся, третья, часть солнечного излучения поглощается и рассеивается сушей, морями и атмосферой и в конечном итоге превращается в тепло и составляет приблизительно до $9 \cdot 10^{16} \text{ Вт}$.

Эта часть образует потенциал собственно солнечной, ветровой и волновой энергетики и может быть утилизирована посредством тепловых и электрических солнечных установок, преобразователей тепловой энергии

океана, а также ветровыми и волновыми станциями. Последний элемент этой группы энергоисточников – ископаемые топлива – продукты процесса фотосинтеза, образовавшиеся сотни миллионов лет назад и сохранившиеся в геологических структурах до наших дней.

Считается, что достоверные мировые запасы угля составляют около $2 \cdot 10^{12}$ т и могут быть исчерпаны за 150-250 лет, нефти – $1,5 \cdot 10^{11}$ т (около 50 лет), газа – $1,5 \cdot 10^{14}$ м³ (около 50 лет). В целом, все извлекаемые запасы ископаемого органического топлива могут дать энергию приблизительно 10^{23} Дж. Такое же количество энергии может дать прирост биомассы примерно за 20 лет. К сожалению, вряд ли когда-нибудь удастся использовать огромные потенциальные ресурсы солнечного тепла непосредственно на Земле в больших масштабах.

Одним из наиболее серьезных препятствий такой реализации является низкая интенсивность солнечного излучения. Даже при наилучших атмосферных условиях (южные широты, чистое небо), при средней плотности потока солнечного излучения 500 Вт/м^2 и 100% КПД солнечных установок, для обеспечения всех энергетических потребностей человечества коллекторы солнечного излучения нужно разместить на территории более $100\,000 \text{ км}^2$. Если предположить, что на отдельной фазе развития энергетики (после 2100 года) все мировые потребности в энергии будут удовлетворяться за счет солнечной энергии, аккумулированной солнечными коллекторами, то в этом случае необходимо использовать площадь от $1 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^6 \text{ км}^2$. В то же время общая площадь пахотных земель в мире составляет сегодня $13 \cdot 10^6 \text{ км}^2$.

Таблица 3.1

Технологии получения энергии Солнца

Технология получения энергии	Ограничения
Получения тепла с помощью металлических (алюминиевых) коллекторов	Большие площади для размещения коллекторов
	Большая материалоемкость
	Большие трудозатраты (в 50-200 раз больше, чем в традиционной энергетике)
	Получение электричества с помощью кремниевых фотоэлементов
	Сравнительно невысокий КПД современных фотоэлектрических станций (до 25%)
	Высокая стоимость кремния «солнечного» качества

Использование энергии ветра

К экологическим недостаткам ветроэнергетических установок относится сопровождающее их работу высокоинтенсивное инфразвуковое излучение, негативно воздействующее на живые организмы.

Таблица 3.2

Основные характеристики ветроэлектрической установки ВЭУ-6

Номинальная мощность генератора, кВт	6
Рабочий диапазон скорости ветров, м/с	
• стартовая;	2,5
• номинальная;	9
• максимальная эксплуатационная;	50
Диаметр ротора, м	6,5
Номинальная частота вращения, об/мин	150
Высота опоры, м	18
Срок службы, лет	30

Использование энергии воды

Преимущества гидроэлектростанций очевидны – постоянно возобновляемый самой природой запас энергии, простота эксплуатации, отсутствие загрязнения окружающей среды. Однако постройка плотины крупной гидроэлектростанции несоизмеримо сложнее, чем постройка небольшой запруды для вращения мельничного водяного колеса. Чтобы привести во вращение мощные гидротурбины, нужно накопить за плотиной огромный запас воды, так что для постройки плотины требуется уложить такое количество материалов, что объем гигантских египетских пирамид по сравнению с ним покажется ничтожным. Изъятие из обращения земельных ресурсов, потенциальная опасность прорыва плотин, ухудшение экологии рек и др. являются негативными факторами использования гидроресурсов.

Использование энергии волн Волновые станции — это поплавки, качающиеся море.

Один квадратный метр акватории может обеспечить мощность порядка одного кВт. Это очень перспективный источник энергии, однако его использование требует привлечения больших материальных ресурсов. Использование энергии фотосинтеза Биомасса — обычное бытовое топливо во многих развивающихся странах. В настоящее время, в связи с подорожанием углеводов, возросло производство топлива (этанола) из растительных культур, используемых в рационе питания человека (сахарный тростник, рапс, кукуруза и т.д.). Но в связи с надвигающимся продовольственным кризисом, использование биомассы будет ограничено.

Использование энергии градиента солености

В основе использования лежит явление осмоса. Если полупроницаемой мембраной разделить пресную и соленую воду (в устьях рек), то молекулы воды будут проходить через мембрану, а молекулы соли нет. Таким образом, со стороны соленой воды создается повышенное давление, которое ограничивает осмотические силы, вытесняющие молекулы пресной воды через мембрану в соленую воду. Создается осмотическое давление. Средняя соленость воды в океане равна 35 кг/м³. Это может обеспечить осмотическое

давление в 24 атмосферы, что равносильно перепаду уровня воды 240 метров.

Средний поток тепла из недр Земли составляет около $5 \cdot 10^{-2}$ Дж/м²·с и обусловлен, по-видимому, энергией распада радиоактивных элементов. Полная же мощность потока тепловой энергии составляет приблизительно $2,5 \cdot 10^{13}$ Вт. На этом энергоисточнике основывается действие геотермальных электрических и тепловых станций.

Другая составляющая энергоисточников этой группы – ископаемые неорганические топлива – уран, торий, а также дейтерий, запасы которого в воде мирового океана способны обеспечивать энергетические потребности человечества практически вечно, но перспективы реального использования управляемого термоядерного синтеза для получения энергии весьма проблематичны, по крайней мере в текущем столетии. Считается, что разведанные запасы ядерного горючего – урана и тория – составляют около $2,5 \cdot 10^6$ т. Они могут быть исчерпаны в пределах текущего столетия при использовании в водо-водяных энергетических реакторах – основных реакторах современной ядерной энергетики. Однако в настоящее время существует технология, получения в реакторах — размножителях на быстрых нейтронах вторичного (воспроизведенного) ядерного горючего, позволяющая реально обеспечить человечество энергией на несколько тысячелетий.

Периодические изменения ускорения свободного падения g на поверхности Земли из-за влияния Луны составляют до $2,49 \cdot 10^{-6}$ м/с². Амплитуда солнечного приливного действия – $g=9,6 \cdot 10^{-7}$ м/с², так что суммарное влияние Луны и Солнца на величину ускорения свободного падения g достигает в максимуме $g_{\max}=3,45 \cdot 10^{-6}$ м/с² и зависит от широты места наблюдения. Допустим, что в процесс прилива одновременно вовлекается половина массы океанской воды. Средняя высота прилива в открытом океане составляет не больше 1 м, а у берегов может достигать почти 20 м. Исходя из этого, будем считать, что средняя высота приливной

волны h в океане составляет 10 м. Следовательно, полная запасенная приливная энергия составит $E=(m/2) \cdot g \max \cdot h = 2,32 \cdot 10^{16}$ Дж, где m – масса воды в океане, равная приблизительно $1,34 \cdot 10^{21}$ кг. Учитывая, что приливная волна проходит по океану дважды в сутки, т.е. один раз за 12 часов, можно оценить мощность данного энергоисточника, как $E/12 \cdot 3600 = 5 \cdot 10^{11}$ Вт. Таким образом, все современные Земные энергоисточники можно классифицировать, как традиционные и нетрадиционные, возобновляемые и не возобновляемые. Возможные сценарии использования возобновляемых источников энергии представлены на рис. 3.3.

Таблица 3.3

Сценарии роста использования ВИЭ

Источники энергии	Объем использования к 2020 г.				
		Минимальный		Максимальный	
		млн. т н. э.	Доля в структуре ВИЭ, %	млн. т н. э.	Доля в структуре ВИЭ, %
Биомасса	243	45	561	42	
Солнечная энергия	109	20	355	26	
Ветровая энергия	85	16	215	16	
Геотермальная энергия	40	7	91	7	
Энергия малых водотоков	48	9	69	5	
Океаническая энергия	14	3	54	4	
ИТОГО:	539	100	1345	100	
Доля в мировой потребности в первичных энергоресурсах, %	3-4		8-12		

3.3 Результаты оценки ресурсов солнечной энергии территории

Как следует из приведенного выше краткого анализа, в АЗРФ имеются разнообразные потенциальные ниши для практического использования солнечной энергии. С учетом высокоширотного расположения потребителей, безусловно, речь может идти только о сезонном наземном использовании

солнечной энергии в периоды солнечного сияния. Бытует устойчивое мнение, что на Севере использование солнечной энергии неперспективно в связи с ее малыми ресурсами. Однако такое утверждение не вполне правомерно.

Известно, что суммарная продолжительность световых периодов в течение года для любой точки земного шара одинакова и равна суммарной продолжительности ночей. В высоких широтах максимум продолжительности солнечного сияния приходится на лето (за полярным кругом — на полярный день), в то время как в экваториальной зоне продолжительности дней и ночей в течение всего года примерно одинаковы.

Таким образом, за пределами атмосферы интегральный годовой поток солнечного излучения, направленный на подвижную ориентированную на Солнце единичную площадку, в любой точке земного шара одинаков. И поступление энергии солнечного излучения на такую площадку, расположенную на поверхности Земли, определяется в первую очередь не широтой местности, а прозрачностью слоя атмосферы, через который проникают солнечные лучи. Для районов земного шара, расположенных в высоких широтах, толщина проходимого солнечным излучением атмосферного слоя выше, чем в низких широтах, в связи с более низким солнцестоянием над горизонтом. Кроме того, поступление энергии солнечного излучения к поверхности Земли определяется влагосодержанием атмосферы, наличием облачности и рядом других характеристик воздушной среды. Отметим, что, например, в центральных районах Антарктиды, расположенных в окрестностях южного полюса (станция «Восток») на высоте около 4 км над уровнем моря, и характеризующихся постоянно господствующими антициклонами с низкой отрицательной температурой воздуха, обуславливающей вымораживание влаги, в летние дни регистрируются потоки солнечного излучения на площадку, ориентированную на Солнце, на уровне $1,1\text{—}1,2 \text{ кВт/м}^2$, что близко к предельному заатмосферному значению около $1,4 \text{ кВт/м}^2$. Интересно также,

что там же, потоки солнечного излучения на вертикальные поверхности северной ориентации с учетом отраженного от снежного покрова излучения иногда достигают $1,6\text{—}1,7 \text{ кВт/м}^2$ и оказываются больше солнечной постоянной. Для целей проектирования и прогноза эффективности работы солнечных установок необходимы надежные данные о падающей солнечной радиации с максимальным охватом территории и частотой сетки. В настоящее время доступны лишь ограниченные результаты наземных актинометрических измерений в этом регионе в виде осредненных данных. Это данные, приведённые по солнечной радиации, полученные на актинометрических станциях, большинство которых расположено в основном на побережье морей и островах Северного Ледовитого океана. Накопленный опыт успешного использования базы данных NASA SSE[6] при оценке ресурсов солнечной энергии на территории Российской Федерации[7,8] , а также при решении задач проектирования солнечных энергетических установок, дает основание для использования данных NASA и для оценки ресурсов солнечной энергии в арктическом регионе. На рис. 3.4 в качестве примера приведена карта распределения среднесуточных сумм прямой солнечной радиации, поступающей на следящую за Солнцем поверхность в течение года, построенная по данным NASA.

Распределение среднесуточных сумм прямой солнечной радиации в $\text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2 \text{ день})$, поступающей на следящую за Солнцем поверхность. Арктическая зона Российской Федерации. Карта построена по данным NASA научным сотрудником Научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии Географического факультета МГУ Ю. Ю. Рафиковой. Видно, что в арктической зоне среднегодовое дневное поступление энергии прямого солнечного излучения варьируется от 2 до 5 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2 \text{ день})$, или от 0,7 до 1,8 $\text{МВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2 \text{ год})$ (от 60 до 150 $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ год})$ условного топлива). Этот энергетический потенциал солнечной энергии существенен и пригоден для практического использования.

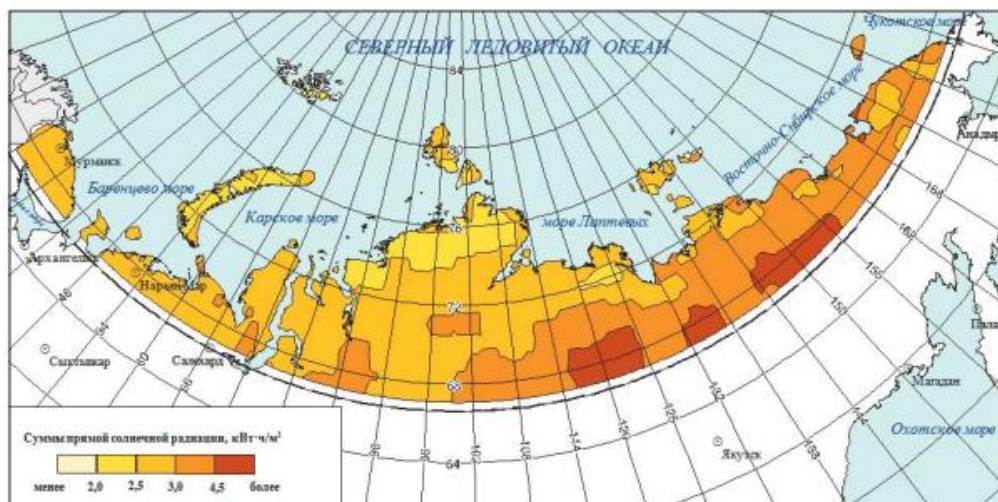


Рисунок 3.4 Карта распределения среднесуточных сумм прямой солнечной радиации

Для сравнения: среднее поступление солнечной энергии в южных районах Германии, где солнечные установки находят широкое применение, составляет всего около $3,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2 \text{ день})$. В ясные летние дни, во многих районах Арктики текущее поступление солнечной энергии на неподвижные, ориентированные на юг приемные поверхности с оптимальным углом наклона к горизонту, могут достигать $6\text{—}8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, что соизмеримо с поступлениями энергии солнечного излучения в южных районах страны. Важен вопрос об адекватности базы данных NASA реальной ситуации. Чтобы ответить на этот принципиальный вопрос, нами была проведена оценка погрешности данных NASA SSE в АЗРФ на основе сравнения (верификации) с результатами наземных метеорологических измерений[5]. Сравнение проводилось по следующим характеристикам:

- среднегодовые суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности;
- среднегодовые суммы прямой солнечной радиации на нормальную к лучу поверхность при средних условиях облачности.

При верификации были определены средние, максимальные и минимальные отклонения суммарной солнечной радиации для точек, максимально близких по географическому положению. Было установлено, что максимальное отклонение среднегодовых значений сумм суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность имеет место для метеообсерватории им. Кренкеля ($80,44^\circ$ с. ш., $58,01^\circ$ в. д.), минимальное отклонение — для станции на острове Преображения ($74,66^\circ$ с. ш., $112,97^\circ$ в. д.). Среднее значение отклонения данных NASA от результатов наземных измерений составляет $0,47$ кВт·ч/(м² сут). Среднее значение отклонения по прямой солнечной радиации на нормальную поверхность равно $1,47$ кВт·ч/(м² сут), минимальное среднее отклонение — $0,75$ кВт·ч/(м² сут) (метеообсерватория им. Кренкеля), максимальное среднее отклонение — $2,42$ кВт·ч/(м² сут) (метеообсерватория на острове Визе).

Максимальное отклонение актинометрических данных о прямой радиации приходится на летние месяцы — июнь, июль, август. Для зимних месяцев NASA SSE дает, как правило, заниженные данные, а для летних — завышенные. Для суммарной радиации максимальное отклонение наблюдается также в летние месяцы, преимущественно в августе, для зимних месяцев NASA предоставляет несколько заниженные данные, для летних — завышенные.

В целом отклонение значений NASA и наземных метеообсерваторий по суммарной солнечной радиации существенно меньше, чем по прямой радиации. Зависимости величины погрешности от широты места расположения метеостанции не обнаружено: для прямой солнечной радиации, станции с максимальной и минимальной погрешностью находятся на соседних широтах — 79° и 80° с. ш. соответственно.

По суммарной солнечной радиации станция с максимальным отклонением находится на широте 80° , с минимальным — на широте 74° .

Таким образом, верификация различных источников данных (NASA SSE и наземные измерения) показала, что если средние и минимальные

отклонения среднемесячных значений суммарной радиации сопоставимы с таковыми в более южных широтах России[7], то максимальные отклонения гораздо больше и могут достигать 50% величины. Это обуславливает необходимость при использовании данных NASA SSE проводить расчеты величины падающей солнечной радиации и иных производных энергетических показателей в терминах максимальных и минимальных оценок.

3.4 Перспективы Арктического региона как ключевой источник российских энергоресурсов

Одним из наиболее эффективных и практически значимых применений солнечных установок в условиях Арктики могло бы стать обеспечение энергопотребностей некоторых групп, вынужденных длительное время находиться вне зоны действия локальных или централизованных электросетей (охотников, геологов, туристов, оленеводов и др.). В рамках выполнения исследований по упомянутой выше программе РАН разработан проект портативной энергоустановки на основе гибких фотоэлектрических модулей и накопителя электрической энергии, а также гарантированного источника питания (бензоагрегат, водородно-воздушный топливный элемент). Установка может применяться для питания осветительных устройств и средств связи. Параметры установки:

- напряжение питания — 1,5—3,75, 7,4, 12, 24 В (постоянный ток), 220 В (переменный ток, опция);
- пиковая мощность — до 240 Вт (до 15 мин — перегрузка на уровне до 1 кВт);
- длительная мощность — 20 Вт.

Первичным источником энергии служит солнечная батарея из гибких монокристаллических фотоэлектрических модулей. По сравнению с уже применяемыми в Якутии[9] модулями каркасной конструкции с защитными стеклами гибкие модули существенно легче и безопаснее при

транспортировке. Применен буферный накопитель на основе литий-ионных аккумуляторов. Возможны варианты исполнения с минимальной рабочей температурой 0°C и -30°C , для чего используются разные виды аккумуляторов (см. следующий раздел), что также существенно улучшает массогабаритные характеристики. Для продолжительных бессолнечных периодов предусматривается резервный источник питания на основе водородновоздушного топливного элемента (в специальном исполнении) или бензоагрегата (для гражданских применений). Источник водорода в случае топливного элемента — картридж-генератор на основе гидролиза боргидрида натрия. Разогрев системы производится за счет теплового эффекта реакции; перед отключением топливного элемента катодный электрод должен быть продут подогретым воздухом для частичного осушения во избежание замерзания. Внешний вид энергоустановки представлен на рис. 3.5.

Новые технологии освоения Арктики

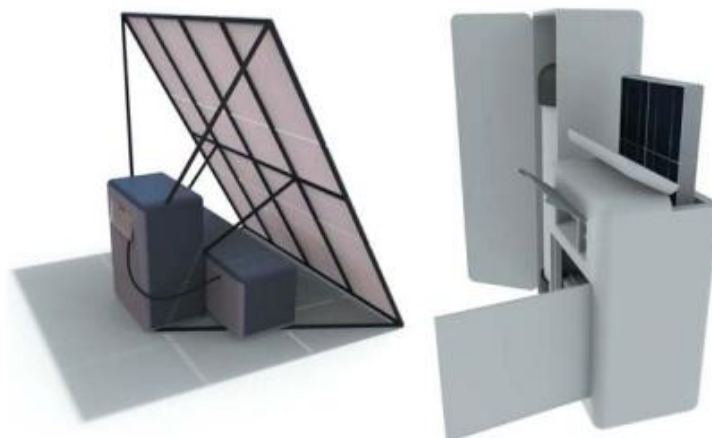


Рисунок 3.5 Внешний вид портативного источника питания

Источник питания ориентирован на сезонное применение в светлое время года. Потенциальными потребителями для него являются средства связи, портативная электроника, рации, зарядные устройства переносных аккумуляторных батарей различного назначения. При комплектации устройства шестью гибкими фотоэлектрическими модулями пиковой

мощностью 140 Вт каждый и аккумуляторной батареей на основе литий-нанотитанатных аккумуляторов энергоемкостью 1,3 кВт·ч система работоспособна при температурах до -30°C . Средняя располагаемая мощность в условиях северной Якутии варьируется от 80 (февраль) до 150 (апрель) Вт, что достаточно для питания средств связи и малой портативной электроники. Масса устройства — около 60 кг, пиковая мощность (при разряде аккумуляторной батареи в течение часа) — 1,3 кВт. В январе, ноябре и декабре устройство неработоспособно из-за отсутствия солнечной радиации. При использовании топливного элемента в качестве гарантирующего источника электропитания при потребляемой мощности 20 Вт устройство может работать в течение 25 суток, при этом масса установки увеличивается до 75 кг.

Замена аккумуляторов на более энергоемкие обеспечивает следующие характеристики:

- минимальная рабочая температура — -10°C ;
- масса устройства с топливным элементом и источником водорода — 41 кг;
- масса устройства без топливного элемента и источника водорода — 32 кг;
- время автономной работы в бессолнечные периоды с использованием топливного элемента (потребляемая мощность 20 Вт) — 25 суток;
- располагаемая мощность — 124—155 Вт;
- пиковая мощность в течение 1 ч — 2 кВт.

Следует отметить, что в рассматриваемых условиях устройство с более энергоемкими аккумуляторами работоспособно с мая по сентябрь включительно (с учетом температурного режима аккумуляторной батареи).

Создание солнечных и ветровых энергоустановок[10], с нестабильной выработкой энергии, сопряжено с необходимостью оснащения их накопителями энергии.

Среди электрохимических накопителей энергии лидером по объемам производства и инсталляции остаются свинцово-кислотные аккумуляторы, популярность которых обеспечивается освоенными конструкцией и технологией производства, а также относительной дешевизной[9].

Обычно используются заливные аккумуляторы, аккумуляторы панцирного типа ($OpzV$), аккумуляторы солнечных серий[10], гелиевые аккумуляторы с плоскими пластинами, аккумуляторы с инкапсулированным в стекловолоконной матрице электролитом (AGM). Эти типы аккумуляторов существенно различаются ресурсом и стоимостью, причем наиболее дорогим и качественным решением являются аккумуляторы панцирного типа.

Проблема ресурса, предельных токов и допустимой глубины разряда — ключевая для данного типа накопителей. Важным обстоятельством, также является то, что для работы со свинцово-кислотными аккумуляторами (в плане диапазонов рабочих напряжений, напряжений отсечки и повторного подключения, а также формы зарядной кривой) адаптировано большинство контроллеров заряда и инверторов, присутствующих на рынке. Литий-ионные аккумуляторы привлекают внимание разработчиков в самых разных областях техники своими свойствами, существенно превосходящими (прежде всего по удельным и ресурсным показателям) аналогичные характеристики других электрохимических систем.

К настоящему времени разработано и применяется большое количество разновидностей электродных материалов для литий-ионных аккумуляторов, придающих им те или иные свойства[11]. Несомненными достоинствами литий-ионных аккумуляторов, определяющими перспективы их применения в стационарных энергоустановках на ВИЭ, являются не столько удельные характеристики, сколько высокая допустимая глубина разряда при сохранении приемлемых ресурсных характеристик.

Среди всех разновидностей литий-ионных аккумуляторов наибольшее внимание привлекает система $Li_4 Ti_5 O_{12}||NMC$, где NMC — смесь литированных оксидов кобальта, марганца и никеля. В рамках анализа

накопителей электрической энергии и материалов для них с учетом арктических условий проведены климатические испытания двух видов литий-ионных аккумуляторов.

Экспериментально подтверждена перспективность использования литий-ионных аккумуляторов с нанотитанатным анодом для работы в энергоустановках при температурах окружающей среды до -30°C без затрат энергии на подогрев контейнера с накопителем электрической энергии. Режим охлаждения аккумулятора в циклах заряда-разряда предполагал, что в реальных условиях температура окружающей среды меняется относительно плавно, а не скачком. Было показано, что аккумулятор системы $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}||\text{NMC}$ сохраняет практически всю емкость в режиме плавного охлаждения и около двух третей — в режиме предварительного охлаждения.

Вторая разновидность аккумуляторов ($\text{LiC}_6 || \text{LiFePO}_4$) оказалась слабороботоспособной в обоих режимах из-за существенного снижения емкости относительно номинальной. Такой же результат получен для свинцово-кислотных систем. При очевидной перспективности использования литий-ионных аккумуляторов с нанотитанатным анодом следует отметить необходимость дальнейшего снижения их стоимости либо применения литий-железофосфатных аккумуляторов в теплоизолированных контейнерах.

Заключение

В данной работе была проведена оценка гелиоэнергетических ресурсов Арктики. Были получены и проанализированы климатические характеристики солнечной радиации, а также выполнена оценка гелиоэнергетического потенциала выбранного региона.

Основные результаты работы позволяют сделать следующие выводы:

-арктический регион является перспективным, как ключевой источник российских энергоресурсов, с помощью которого можно решить такие проблемы, как нехватка природных энергетических ресурсов и нарастание энергетического кризиса

-солнечная энергия в Арктике в зимние периоды гораздо слабее или отсутствует совсем, в отличие от энергии ветра, которая имеет противоположные параметры, что говорит о том, что эти две установки отлично дополняют друг друга

-портативная энергоустановка на основе гибких фотоэлектрических модулей и накопителя электрической энергии лучше всего подойдёт для получения солнечной энергии.

Список использованных источников

1. К а л и т и н Н. Н. Напряжение солнечной радиации в Арктике. Труды АНИИ, т. 39, 1936.
2. Маршунова М.С. Радионов В.Ф. Колебания интегральной прозрачности атмосферы в полярных районах // Метеорология и гидрология. 1988. № 11. С. 71–80.
3. Научно-прикладной справочник по климату России (Арктический регион): Солнечная радиация. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. 230 с.
4. Радионов В.Ф., Маршунова М.С., Русина Е.Н. и др. Аэрозольная мутность атмосферы в полярных областях // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1994. Т. 30. № 6. С. 797–801.
5. Русин Н.П. Метеорологический и радиационный режим Антарктиды. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 448 с.
6. Русина Е.Н., Радионов В.Ф. Оценка «доиндустриальной» оптической толщины атмосферы при полярной дымке в Арктике и современного вклада антропогенных выбросов // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 35–39.
7. Справочник по климату Антарктиды. Солнечная радиация. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 148 с.
8. Черниговский Н.Т., Маршунова М.С. Климат Советской Арктики (радиационный режим). Л.: Гидрометеиздат, 1957. 415 с.
9. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка подпрограммы государственной программы Российской Федерации “Экономическое и социальное развитие Арктической зоны Российской Федерации на 2011—2020 годы” в Республике Саха (Якутия)» // <http://www.sakha.gov.ru/en/node/65700>.
10. Пилясов А. Н. Контуры стратегии развития Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. — 2011. — № 1. — С. 38—47.
11. Леса Архангельской области истощены на 23% // <http://lesvesti.ru/news/news/5791/>.

12. Таюрский В. Якутских оленеводов переводят на солнечные батареи // <http://www.rg.ru/2009/03/12/reg-dvostok/sun-anons.html>.
13. Научно-прикладной справочник по климату России (арктический регион): Солнечная радиация. — СПб.: Гидрометеиздат, 1997. — 238 с.
14. Surface meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site (release 6.0) // <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.
15. Попель О. С., Фрид С. Е., Коломиец Ю. Г. и др. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. — М.: Изд-во МФТИ, 2010. — 83 с.
16. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): Учебное пособие / О. С. Попель и др. — М.: Изд-во МФТИ, 2010. — 56 с.
17. Тарасенко А. Б. Накопители электрической энергии для систем на основе ВИЭ: современное состояние и перспективы развития // Материалы восьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием. — М.: Унив. кн., 2012. — С. 148—185.
18. Шютц М. Презентация компании ВАЕ Batterien GmbH в докладах Международной научнопрактической конференции «Возобновляемая энергетика в изолированных системах Дальнего Востока России», 28 июня 2013 г., Якутск.
19. Scrosati B., Garche J. Lithium batteries: Status, prospects and future // J. of Power Sources. — 2010. — Vol. 195. — P. 2419—2430.
20. National Geographic Education: The Arctic Region; National Geographic Education: Arctic Adaptations
21. Physical/Geographical Characteristics of the Arctic // <https://iwlearn.net/>
22. Proshutinsky A, Johnson M. 1997. Two circulation regimes of the wind-driven Arctic Ocean. J. Geophys. Res. 102, 12 493–12 514. (10.1029/97JC00738) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]

23. Proshutinsky A, Polyakov I, Johnson M. 1999. Climate states and variability of Arctic ice and water dynamics during 1946–1997. *Pol. Res.* 18, 135–142. (10.1111/j.1751-8369.1999.tb00285.x) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
24. Proshutinsky A, Bourke RH, McLaughlin FA. 2002. The role of the Beaufort Gyre in Arctic climate variability: seasonal to decadal climate scales. *Geophys. Res. Lett.* 29, 2100 (10.1029/2002GL015847) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
25. Dukhovskoy DS, Johnson M, Proshutinsky A. 2004. Arctic decadal variability: an auto-oscillatory system of heat and fresh water exchange. *Geophys. Res. Lett.* 31, L03302 (10.1029/2003GL019023) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
26. Dukhovskoy DS, Johnson M, Proshutinsky A. 2006. Arctic decadal variability from an idealized atmosphere–ice–ocean model: 1. Model description, calibration, and validation. *J. Geophys. Res.* 111, C06028 (10.1029/2004JC002821) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
27. Dukhovskoy DS, Johnson M, Proshutinsky A. 2006. Arctic decadal variability from an idealized atmosphere–ice–ocean model: 2. Simulation of decadal oscillations. *J. Geophys. Res.* 111, C06029 (10.1029/2004JC002820) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
29. Nansen F. 1902. Oceanography of the North Polar Basin. The Norwegian polar expedition 1893–1896. *Sci. Res.* 3, 427. [[Google Scholar](#)]
29. Zubov NN, Somov MM. 1940. Ice drift in the northern Arctic Basin. *Probl. Arkt.* 2, 51–68. [[Google Scholar](#)]
30. 9. Carton JA, Chepurin GA, Reagan J, Häkkinen S. 2011. Interannual to decadal variability of Atlantic water in the Nordic and adjacent seas. *J. Geophys. Res.* 116, C11035 (10.1029/2011JC007102) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)] [[Ref list](#)]