



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

Кафедра инженерной гидрологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

**Изменение испарения с поверхно-**  
На тему **сти снега в Арктической**  
**зоне России по влиянием климата**

Исполнитель \_\_\_\_\_ Соловьева Алена Михайловна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_ канд. геогр. наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Постников Александр Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

Консультант \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ (фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

\_\_\_\_\_ канд. техн. Наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«13» июля 2022г.

Санкт-Петербург  
2022

## Содержание

|  | Стр. |
|--|------|
| Введение .....   | 3    |
| 1. Физико-географическая характеристика АЗРФ .....                                       | 6    |
| 1.1. Основные географические признаки АЗРФ .....   | 6    |
| 1.2. Гидрометеорологические условия .....  | 9    |
| 1.3. Гидрохимический режим .....   | 13   |
| 1.4. Особенности рельефа .....   | 16   |
| 2. Методы измерения и расчета концентрации на поверхности снега .....                    | 22   |
| 2.1. Методы расчета .....  | 26   |
| 3. Результаты исследования определения испарения с поверхности снежного<br>покрова ..... | 36   |
| Заключение .....   | 46   |
| Список используемых источников .....   | 49   |
| Приложение .....   | 51   |

## Введение

В наших условиях снег, так или иначе, влияет на все отрасли народного хозяйства. Данные об испарении со снега приобретают все большее значение в связи с учетом водных ресурсов, развитием водобалансовых исследований и расчетов, переходом к непрерывному изучению в течение года гидрологического режима речных водосбросов и водоёмов. Повышение обеспеченности высокой степени гидрологических расчетов и прогнозов, сведения о величине потерь влаги на снежном покрове, требуются при решении практических задач народного хозяйства. В свою очередь, при обнаружении снежных мелиораций и расчетов в степных обеспеченностях степных территорий южных и восточных регионов страны, где снег является одним из основных источников весеннего увлажнения. Испарение со снегом необходимо также при разработке гидрологических прогнозов и при расчетах водного баланса главным образом за весенний период. В настоящее время ощущается постоянная потребность в карте суммарных величин испарения со снежным покровом; такая карта имеет бы общегеографическое и агроклиматическое значение.

Испарение с поверхности льда при низких температурах было замечено давно. О том, что лед способен испаряться, упоминал еще Плиний Старший в 31-й книге "Естественной истории". В 1680 г. Роберт Бойль провел первое измерение испарения льда. До 15 марта 1815 года испарение не было объектом исследований, но русский физик В.В. Петров начал проводить опыты над испарением снега и льда, на основе которых возникла зависимость скорости испарения от различных природных условий - атмосферного давления, температуры, силы ветра и др.

В 1871 году выдающийся русский климатолог и географ А. И. Воейков предположил, что температура поверхности снега в большинстве случаев выше точки росы нижнего слоя воздуха, поэтому потребление в зимнее время должно превалировать над конденсацией. [3] Своими работами А. И. Воейков возбудил

большой интерес к динамике испарения со снегом, следствием чего явилась дискуссия, что происходит на поверхности снега испарение или конденсация? Дискуссия в свою очередь стала причиной возникновения стимула для выявления последствий и применения большого влияния на развитие исследований в этой области.

В течение первой половины 20-го в. работы по изучению испарения со снега развивались очень медленно. Зимой 1918 года наблюдения над испарением проводилось на метеорологической площадке Лесного института под Ленинградом на небольшой полянке, окруженной невысокими деревьями. Для наблюдения использовались стеклянные плоские чашки площадью около 500 см<sup>2</sup> и глубиной 7 см. Всего за март было получено количество испарения около 3 мм. Наиболее длительный ряд наблюдений был получен для станции Еленовка и Залугу в бассейне оз. Севан. В Залугу для наблюдения был использован почвенный испаритель Рыкачева, в сосуд вместо дерна помещался снег, а сам сосуд находился среди снега. В Еленовке для испарителя были изготовлены сосуды, соответствующие почвенным испарителям Рыкачева с испаряющей поверхностью 3000 см<sup>2</sup>. По материалам наблюдений Н. Г. Николаев построил график зависимости от температуры воздуха и рассчитал по нему испарение для 9 береговых станций, расположенных в различных частях озера Севан. Средние годовые величины зимнего испарения на станции были обнаружены в пределах от 40 до 72 мм. Другим обнаружением стационарных явлений над испарением являются наблюдения Я.И. Тычино в Западном Казахстане на станции оз. Индер, период наблюдений от зимы с 1940 по 1943 гг. Наблюдения дали вполне сравнимые между собой величинами испарения со снегом и льдом.

Перелом наступил в шестидесятих шагах. В этот период, особенно в семидесятые годы, появившиеся в результате определенных аспектов изучения испарения со снега: разработка различных типов испарителей, потенциальной потребности в постановке типов различных климатических зон на равнине и в горах, построение различных схем расчета, оценка охвата поверхности снега и почвы в период снеготаяния, развитие теоретического представления о процес-

се добычи и лабораторным исследованиям. Изучение зимнего испарения производства было направлено на большое количество задач, на стоковых станциях с целью учета элементов водного баланса, на станциях лесогидрометеорологических - с целью изучения лесных массивов.

Следует отметить, как видно из изложенного, были исследованы разрозненными, выборочными образцами, с использованием различных типов испарителей, в результате получения которых не могут быть сравнимы между собой данные. Поэтому их преобразование не могло привести к согласованным результатам. Так, например, из двух карт изолиний испарения, построенных А.М. Алпатьевым и В.И. Кузнецовым, первая оказалась с завышенными, а вторая - с заниженными данными по поглощению со снегом. [1] [2]

Началом наблюдений за испарением со снега на сети гидрометеорологических станций является 1963 г. К этому времени в ГГИ была закончена разработка унифицированной методики наблюдений за испарением со снега на сетевых станциях и издано Руководство по производству наблюдений. Первые стационарные наблюдения по этой методике стали производиться с зимы 1963 – 1964 гг. на отдельных гидрометстанциях. В настоящее время они производятся по единой программе, с применением приборов и методов наблюдения, на выборочной сети гидрометстанций, исследуя различные природные зоны России.

В данной работе исследовалось испарение с поверхности снежного покрова в Арктической зоне России, как по все территории, так и период залегания снежного покрова.

## 1. Физико-географическая характеристика АЗРФ

### 1.1. Основные географические признаки АЗРФ

Согласно результатам исследований Института географии Российской академии наук, физическое и географическое определение Арктики было определено практически на протяжении 20 лет. Изначально существовало узкое понимание территории Арктики, охватывающей преимущественно моря и острова Северного Ледовитого океана, ограниченные с юга изотермой самого теплого месяца (июль)  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Большинство авторов приписывают Арктике лишь северную часть тундровой зоны (арктическая тундра) и арктическую пустынную зону. В данном случае территория Арктики включала в себя не только острова с арктическими пустынными ландшафтами и арктической тундрой, но и континентальные окраины, с ландшафтами арктической тундры. На данный момент не существует общепринятого определения Арктики, согласованного всеми странами.

Арктический Атлас, опубликованный в СССР, дает следующее физическое и географическое определение этого региона нашей планеты: Арктика-это северный полярный регион Земли, включая Северный Ледовитый океан и окружающие края континентов Евразии и Северная Америка. Он включает территории, расположенные в пределах средней долговременной изотермы июля  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , где в условиях вечной мерзлоты есть покрывающие ледники или тундра без деревьев, и водные районы, где первый год льда в отдельные годы не тает в весенне-летний период, а затем превращается в многолетний.

Это определение Арктики было взято за основу решением Государственной комиссии при Совете Министров СССР по арктическим вопросам 22 апреля 1989 года, на которой находятся определенные территории, принадлежащие российской части Арктики. В то же время считалось целесообразным сменить ее южную границу, заботясь о сохранении целостности ее администра-

тивных единиц, то есть о том, что она должна быть восстановлена немного южнее физиографического определения.

Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и далее, утвержденные Президентом Российской Федерации 18 сентября 2008 г. № Пр-1969, Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) определяется как часть Арктики, которая охватывает всю или часть территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Красноярской территории, Ненец, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономный округ, определяемый решением государства. Комиссия при Совете Министров СССР по арктическим вопросам от 22 апреля 1989 г. как и страны и острова, указанные в Указе Президиума Центрального Исполнительного комитета СССР от 15 апреля 1926 г. "О провозглашении территорий СССР земли и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане", а также внутренних морских вод вблизи этих территорий, земель и островов, территориального моря, исключительной экономической зоны и континентального шельфа Российской Федерации, в рамках которого Россия имеет суверенные права и юрисдикцию в соответствии с международным правом.

Территория Арктики и, соответственно, российской Арктики в научной литературе отождествляется с арктическими и субарктическими географическими (климатическими) зонами. Арктический пояс охватывает северную часть Новой Земли, северную часть полуострова Джамал, полуостров Таймыр и далее простирается вдоль побережья до мыса Дежнева на полуострове Чукотка. К югу от арктического пояса находится субарктический пояс-он охватывает тундровые и лесно-тундровые зоны и занимает северную часть Кольского полуострова, затем его можно проследить вдоль арктического побережья до Полярного Урала, затем в Западной, Восточной Сибири и Дальний Восток движется на юг. Если на европейской территории России субарктический пояс находится на Севере или на линии Полярного круга, то дальше в Западной Си-

бири пересекает Полярный круг и постепенно расширяется на юг, идет к берегу Охотского моря и к северной части Камчатского полуострова — до 60° с. ш.

Климатические и ландшафтные особенности определяют Арктический и субарктический пояса, которые зависят от широты области и количества солнечной энергии, а также от воздействия многих аazonальных факторов, таких как морские течения, обеспечивающие поток относительно теплых водных масс от Атлантического океана до Северного Ледовитого океана, изменение типов климата от морского к резко континентальному в меридиональном направлении, влияние зоны высот (изменение климатических характеристик с увеличением высоты области над уровнем моря) и т. д.

Арктический пояс радиационного баланса определяется отрицательными или небольшими положительными значениями, преобладанием арктических воздушных масс, долгой полярной ночью, низкими температурами воздуха и поверхностными водами океана. Море арктического пояса отличается устойчивым ледяным покровом. Субарктическая зона имеет прохладный климат, большая часть атмосферных осадков выпадает в твердой форме, а снежный покров имеет продолжительность 7–8 месяцев. Субарктическая зона характеризуется вечной мерзлотой и формами рельефа, которые ей характерны.

Если полярный круг имеет фиксированное положение-соответствует широте 66 ° 33 " с. ш., то границы этих географических зон не имеют строгой географической ориентации. Это связано с влиянием аazonальных факторов.

В горах географическое зонирование перекрывается и заменяется большой изменчивостью в климатических и ландшафтных зонах. За высотной зональностью следуют изменения геоморфологических, гидрологических, почвенных процессов, состава растительности и животного мира. Многие характеристики определяются наличием склонов, располагающимся по отношению к преобладающим воздушным массам и их удаленностью от океана. [18]



## 1.2. Гидрометеорологические условия

Арктическая зона охватывает моря и острова Северного Полярного бассейна, а на континенте — полосу, прилегающую к берегам морей этого бассейна, за исключением Мурманского побережья. Южная граница арктической зоны совпадает с южной границей тундры и приблизительно с изотермой  $10^{\circ}$  самого теплого месяца в году.

Арктический воздух является областью преобладания на Арктики, характеризующийся низкими содержаниями водяного пара и температурами. В зоне имеют место большие годовые колебания температуры воздуха малые суточные изменения, годовые суммы осадков.

В летнее время во всей зоне на арктическом фронте развивается циклоническая деятельность. В зимнее время она протекает только в западной и восточной частях Арктической зоны России.

Климатические условия Арктической зоны изменяются с запада на восток. Самой теплой частью является район Баренцева моря в ней очень часто проходят циклоны, с которыми связан перенос теплого атлантического воздуха на восток и северо-восток к Карскому морю. В некоторых случаях этот воздух может достигать даже положительной отметки, проходящие преимущественно зимой.

В марте — апреле циклоническая деятельность Арктике ослабевает, область же высокого давления усиливается. В связи с этим в западном районе Арктики устанавливается холодная, солнечная погода. Наиболее холодным месяцем в году в этом районе является март, после в западном районе Арктической зоны летом вновь начинает развиваться циклоническая деятельность.

В западный район Арктики входят: Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и узкая прибрежная полоса тундры от полуострова Канин до полуострова Таймыр.

На Земле Франца-Иосифа, которая представляет собой архипелаг, в бухте Тихой самым холодным месяцем является март, средняя температура которого —22,5°. Следует, однако, указать, что средние месячные температуры за период декабрь – март мало слабо отличаются.

В зимние месяцы на Земле Франца-Иосифа часто бывают оттепели, во время которых иногда выпадает дождь. Такие потепления среди зимы вызывают вторжением морского воздуха со стороны Атлантического океана. Зимой часто дуют сильные ветры, придающие климату значительную суровость.

Самым теплым месяцем в году на Земле Франца-Иосифа является июль (средняя температура 1,3°C), но в отдельные дни температура может достигать до 10°C, преобладает высокая облачность, особенно в конце лета и осенью. Летом часто бывают туманы. Годовое количество осадков 200–300 мм.

С климатом Земли Франца-Иосифа сходен климат северной части Новой Земли. Здесь также самым холодным месяцем в году является март, средняя температура его равна –21,5°C, что в зимние месяцы мало отличается друг от друга. Самый теплый месяц август, средняя температура его 2°C. В южной части Новой Земли климат теплее. В проливе Маточкин Шар средняя температура января –20,5°C, февраля и марта —19°C, июля и августа 5,5°C. На берегах Новой Земли часто наблюдается сильная бора.

На континенте климатические условия западной части Арктики значительно улучшаются. В низовьях Печоры (Нарьян-Мар) средняя температура января повышается до —18°C, июля до 12°C, годовая сумма осадков достигает 360 мм.

С продвижением на восток климатические условия арктической зоны постепенно изменяются. Циклоническая деятельность ослабевает, особенно зимой, увеличивается частота и длительность вторжений арктического воздуха, возрастает мощность вечной мерзлоты. Последняя встречается в восточной ча-

сти Кольского полуострова, а затем вновь появляется на полуострове Канин, ее сила в районе Воркуты достигает 130 м, в районе Надвига — 600 м.

В азиатской части суровые климатические условия в полосе тундры от устья Енисея до Колымы, на островах Новосибирских, Врангеля и Северной Земле. В зимнее время здесь устанавливается высокое давление, в связи с чем зимы в азиатской части Арктики отличаются весьма холодной, ясной и тихой погодой. Средняя температура января в низовьях Лены достигает  $-38^{\circ}\text{C}$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$ , в отдельные дни бывают морозы до  $-55^{\circ}\text{C}$  и более. Осадков зимой выпадает очень мало, толщина снежного покрова незначительна - около 30 см. Лето короткое и прохладное. Однако в низовьях Лены температура воздуха иногда поднимается до  $25^{\circ}\text{C}$  и выше. Летом часто бывают туманы.

На арктическом фронте летом в азиатской части Арктики развивается циклоническая деятельность, в связи с чем наблюдается частое выпадение осадков в виде дождя или снега. Годовая сумма осадков составляет около 200 мм, а в дельте Лены она снижается до 100 мм.

Климат Северной Земли, Новосибирских островов и острова Врангеля суровый. Северная Земля представляет собой архипелаг, значительная часть островов которого покрыта ледником. Здесь, так же, как и в западной Арктике, самым холодным месяцем является март; средняя температура около  $-28^{\circ}\text{C}$ . Самый теплый месяц — июль; средняя температура около  $1-2^{\circ}\text{C}$ . Наименьшая облачность наблюдается в декабре и марте, наибольшая в сентябре. Преобладающими в среднем за год являются ветры юго-восточного направления.

На Новосибирских островах и острове Врангеля зима весьма холодная, с малооблачной погодой. Средняя температура самых холодных месяцев (января и февраля) около  $-30^{\circ}\text{C}$ . Лето пасмурное, с частыми туманами; временами выпадает снег. Средняя температура самых теплых месяцев (июля и августа) около  $1-3^{\circ}\text{C}$ . Иногда на острова с юга проникает летом теплый континентальный воздух. В этих случаях температура может повышаться до  $10^{\circ}\text{C}$  и более.

За рекой Колыма в арктической зоне начинает сказываться влияние Берингова и Чукотского морей. В летнее время с этих морей на континент часто приходят массы воздуха, вызывающие облачную холодную погоду. Однако в отдельные летние дни в восточную часть Арктической зоны России может вторгаться теплый континентальный воздух из Сибири. При таких вторжениях максимальные температуры поднимаются до 20°C и выше. В зимнее время со стороны Алеутских островов в этот район Арктики приходят влажные массы морского воздуха, вызывающие пасмурную погоду, благодаря которой в сильной степени уменьшается потеря тепла земной поверхностью через излучение. Зимы в восточном секторе Арктики суровы, но они все же теплее, чем к западу от Колымы.

Острова Арктики в значительной части покрыты льдом. Лучшие условия для развития растений в арктической зоне создаются только в тундре, расположенной в основном на континенте, вдоль берегов полярных морей. Вегетационный период в тундре короткий и составляет 2—3 месяца. Начинается поздно, так как до его наступления много тепла уходит на таяние снега, на оттаивание верхнего слоя почвы и на испарение излишков воды. В течение вегетационного периода растения получают мало тепла вследствие низкого положения солнца над горизонтом. Этот недостаток усугубляется в тундре еще вечной мерзлотой, охлаждающей верхний слой почвы, оттаивающий летом на небольшую глубину. Кроме того, он в теплое время года содержит много воды, так как лежащий ниже мерзлый грунт препятствует просачиванию ее в глубокие слои. При таких условиях питательные вещества, в первую очередь азот, поступают в растения с большим трудом, как следствие рост замедляется.

Большой вред растениям в тундре причиняют сильные ветра, иссушающие флору, понижающие температуру листьев, вызывающие механические повреждения. Особенно опасны эти ветры в самом начале вегетационного периода, когда пробуждающиеся надземные части растений начинают испарять влагу, а корни их находятся еще в мерзлой почве. Поэтому растения в тундре

находят более благоприятные условия для своего роста и развития в защищенных от ветра местах – в долинах рек или на склонах.

Большая облачность способствует попаданию прямой солнечной радиации в тундре, как следствие рассеянная радиация имеет преобладающее значение. Из-за большой прозрачности воздуха имеет место значительная ультрафиолетовая радиация; интенсивность ее в тундре выше, чем в средних широтах. Благодаря большой продолжительности дня растения тундры за вегетационный период получают достаточное количество света. Кроме того, коэффициент использования солнечной энергии при рассеянном свете гораздо больше, чем при прямом солнечном освещении. Все это дает возможность растениям тундры создавать значительную органическую массу в условиях длинного дня короткого и прохладного полярного лета.

В настоящее время на Крайнем Севере посевы занимают большую площадь. Так, заново создано земледелие в ряде северных районов республики Саха, Таймырском полуострове и Ямало-Ненецком автономном округе и др. В этих районах выращиваются картофель, капуста белокочанная и цветная, брюква, репа, морковь и другие овощные культуры. Скороспелые овощи успешно выращиваются даже на побережье Северного Ледовитого океана (например, в бухте Тикси).

Для леса в тундре создаются неблагоприятные условия вследствие недостатка тепла, избытка влаги, сильных ветров и высокой относительной влажности воздуха летом. Поэтому тундра безлесна. Растительность в тундре главным образом травянистая. Большое распространение в тундре имеют болота. [16]

### 1.3. Гидрохимический режим

Наблюдается трансформация гидрофизических характеристик речных и морских вод в зоне их контакта, которые вступили в контакт, что определяет особенность гидрохимического режима этой зоны, то есть изменчивость гидробиологических и седиментационных процессов.

Гидрохимический морской режим российской Арктики имеет много общих характеристик и отличий. Основные различия касаются влияния на их режим холодных вод Арктического бассейна, атлантических или тихоокеанских вод и значительного опреснения воды под влиянием сибирских рек, а именно воды Баренцева моря хорошо вентилируются. Содержание кислорода в толще воды по всей поверхности моря близко к насыщению. Максимальные значения в верхнем слое (0–25 м) достигают 130% летом, минимальное значение (70–75%) было обнаружено в глубоких частях депрессии и на севере Печорского моря. Снижение содержания кислорода наблюдается на горизонте 50 м, над которым обычно находится слой воды с развитым фитопланктоном. Количество растворенных в воде нитратов растет с суши на север и с поверхности на дно. Летом количество нитратов в поверхностном слое (0–25 м) уменьшается, и к концу сезона они почти полностью потребляются фитопланктоном. Осенью, с развитием вертикальной циркуляции, содержание нитратов на поверхности начинает расти из-за поглощения из нижних слоев.

Годовой поток стратификации совпадает по показателям фосфатов и нитратов. В областях распределения холодного промежуточного слоя нитраты замедляют обмен газов и питательных солей между поверхностными и глубокими слоями. Запас биогенных веществ в поверхностном слое летом восстанавливается из-за таяния льда, объясняя резкое развитие фитопланктона у края льда.

Широкая связь с океаном, образование и таяние льда и большой речной сток влияют на гидрохимические условия, преобладающие в Карском море, особенно на содержание и распределение кислорода и питательных веществ в море. Верхний слой перенасыщен кислородом на начало лета и осенью в северной части. Наблюдается значительное снижение содержания кислорода в пери-

од летней оттепели, объясняющее уменьшение растворимости кислорода при увеличении температуры воды.

Юго-восточная часть моря характеризуется относительно низким содержанием кислорода на поверхности, колеблющийся в пределах 80–90% насыщенности.

Распределение питательных веществ характеризуется снижением их концентраций с юга на север. Летом верхний слой толщиной 25 – 30 м обычно истощается фосфатами и нитратами из-за их потребления фитопланктоном. Содержание этих элементов несколько увеличивается в толще. Присутствие льда не влияет на содержание фосфатов, но существенно влияет на количество нитратов в воде. Их минимум наблюдается в разбавленном льду, максимум в чистой воде. Потому что нитраты из воды извлекаются с помощью фитопланктона, который имеет самое большое около края льда.

Большой континентальный сток и свободная связь с арктическим бассейном влияют на гидрохимические условия моря Лаптевых. Согласно таблице содержания растворенного кислорода, северная часть моря немного богаче южной, что связано с худшей аэрацией на юге из-за резкой разницы в вертикальной плотности. В конце лета поверхностный слой (0 – 10 м) в большинстве районов моря имеет около 100% насыщения кислородом. В другие сезоны содержание кислорода уменьшается по мере увеличения глубины.

В отличие от распределения кислорода в поверхностном слое моря, содержание фосфатов и нитратов очень низкое. Соленый состав вод этого моря, типичный для морей, имеет относительно низкое содержание магния, сульфатов и хлора, а натрий, калий, кальций и углекислый газ в них немного более растворены, чем в океане.

Характерные особенности гидрохимических условий Восточного Сибирского моря иллюстрируют содержание и распределение в нем кислорода и фосфата. Осенью и зимой хорошо вентилируются воды Восточного Сибирского

моря. Относительное содержание кислорода слегка меняется со временем: от 96 до 93% насыщения. Снижение содержания кислорода связано с его потреблением для окисления органических веществ, которое наиболее интенсивно происходит вблизи дна. Таким образом, минимум кислорода также находится в нижнем слое.

В те же сезоны наблюдается довольно высокое содержание фосфатов в морской воде (от 125 до 40 мкг/л), что объясняется слабым развитием фитопланктона под ледяным покровом. Весной и летом активный газообмен с атмосферой и интенсивный фотосинтез приводят к увеличению относительного содержания кислорода в воде до насыщения на 105–110%. Быстро развивающийся, особенно на краю льда, фитопланктон активно потребляет фосфаты, в результате чего их содержание в воде падает до 20 и даже до 10 мкг/л.

Широкая связь с арктическим бассейном, сток небольших рек и приток тихоокеанских вод определяют гидрохимические условия Чукотского моря, которые характеризуют океанические особенности и почти не влияют на континентальные воды. Содержание кислорода и питательных солей в воде не одинаково в районе и на морском горизонте, а также варьируется от сезона к сезону. Высокое относительное содержание кислорода (112–130%) наблюдается в верхних слоях, которые покрывают горизонты 0–50 м на юге, 0–10 м на севере и всего 0–5 м среди льда.

Зимой количество питательных солей, особенно фосфатов, растворенных в воде, намного, чем летом, когда они интенсивно потребляются планктоном. По той же причине их меньше в поверхностных горизонтах по сравнению с глубокими. В северных районах моря содержание фосфата на поверхности составляет 40 мкг/л, а на дне 70–80 мкг/л. в южной части моря их количество уменьшается до 6 мкг/л на поверхности и до 50 мкг/л на дне.

#### 1.4. Особенности рельефа



Арктика имеет два основных морфоструктурных элемента: бассейн Северного Ледовитого океана и северный край континентов. Эти макроморфоструктуры имеют следующую структуру.

- В море:
  - глубокое русло Северного Ледовитого океана, где расположены подводные бассейны и рифы;
  - большой континентальный склон морского дна;
  - континентальный пояс, представленный мелкой подводной равниной, осложняющийся рельефом архипелага, острова, полуострова. Они образуют краевые и внутренние моря и заливы в пределах шельфового пространства.
- Внутри земельной территории:
  - прибрежные равнины, которые простираются узкой полосой вдоль побережья или плавно переходят в континентальные равнины Евразии и Северной Америки;
  - горные хребты, плато, которые местами приближаются к арктическому побережью.

Характеристики рельефа Евразийского бассейна Арктики обусловлены сочетанием геологических структур различного происхождения, которые здесь развивались: восточноевропейские и сибирские платформы и морщинистые районы. Они состоят из терригенных, карбонатных, гомогенных и вулканических осадочных пород архей до четвертичного возраста. Также встречаются легко вымываемые эвапоритовые породы (гипс, ангидрит, каменная соль и др.), образуются грунтовые воды с высоко минерализацией (более 10 г/л), оказывающие большое влияние на химию речных вод, особенно зимой.

Кольский полуостров расположен на северо-восточной оконечности Балтийского Хрустального щита, состоящего в основном из гранита и гнейса. Основные особенности рельефа полуострова обусловлены многочисленными разломами и трещинами в кристаллическом щите, а также несут следы сильного

удара ледников, которые сгладили вершины гор и оставили большое количество отложений морены. Северная часть занимает плато, которое резко разделяется на Баренцево море и горло Белого моря. Плато прорезано ущельями, через которые текут реки Харловка, Йоканга, нижний поток Поноя. На юге плато постепенно поднимается до 300 м и резко разделяется на центральную заболоченную низменность.

Территория Архангельской области в целом представляет собой обширную равнину со слегка выраженным наклоном к Белому и Баренцеву морям. Плоскость местами нарушена крайними мореными холмами, образовавшимися под действием древнего ледника. На северо-западе региона сохранились мощные курганы морены. На востоке регион включает Северный и средний Тиман – низкие горы, состоящие из серии параллельных хребтов с вершинами плато до 400 – 450 м. Речной сток несет большое количество осадочного материала и эрозия рек, это приводит к образованию дельт.

Ненецкий район расположен на Печорской равнине, простираясь от Тиманского хребта до хребта Пай-Хой и занимая территорию, называемую Малоземельной тундрой (на западе) и Большеземельной тундрой (на востоке). Рельеф плоский, с небольшой возвышенностью на полуострове Югра (гора великая Надея, высота 428 м), что создает благоприятные условия для промышленного развития территории.

Рельеф Ямало-Ненецкого автономного района - низменная равнина со средней высотой до 100 м над уровнем моря, с множеством озер и болот. Правый берег (к востоку от реки Обь), сухопутная часть района представляет собой слегка холмистое плато с небольшим наклоном на север. По характеру поверхности полуостров Джамал разделен на 3 части: Северо-Сибирскую низменность, горы Бирранга (высотой до 1146 м), простирающиеся с юго-запада на северо-восток, и прибрежную равнину вдоль побережья Карского моря. Наиболее распространенным является криогенный износ почвы.

Значительная часть Таймырского (Долгано-Ненецкого) муниципального района Красноярской территории занята Таймырской низменностью, которая представляющей холмистую равнину высотой от 50 до 250 м, состоящую из ледниковых, озерно-ледниковых, морских и современных озерно-аллювиальных и аллювиальных отложений. Морские равнины состоят из глин Каргинского и Казанского, а на Западе глины часто обнажаются в долинах рек и ручьев. Широко развиты криогенные процессы - термокарст, криогенная солифлюкция, криогенный износ. Эти же процессы характерны для узкой полосы прибрежных равнин, простирающейся к северу от гор Бырранга. Большая площадь сформирована ледниками и вечной мерзлотой.

На территории промышленного региона Норильск находится Енисейская равнина и горы Путорана. Равнина является продолжением Западносибирской равнины и представляет собой низкую озерную поверхность с небольшим наклоном к северо-западу, состоящую в основном из ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных отложений. Горы Путорана включают соседние горные хребты Хараелах, Норильское плато, Лунтокой рок, Ламские горы. Они состоят из очень твердых диабазов и базальтов, которые представляют собой пермские, триасовые вулканические слои и слои лавы, а также вулканические туфы, которые легко изнашиваются. Плато сильно разбито глубокими крутыми речными долинами, которые со всех сторон расходятся от центральной части массива и достигают глубины 800 – 1200 м.

Территория Якутии принадлежит в основном двум крупнейшим тектоническим структурам - Сибирской платформе и Верхоянско-Чукотской области мезозойской складчатости. На Сибирской платформе развиты слоистые плато и равнины, на его южной окраине, в пределах Альданского щита, находится плато с интенсивно расчлененным рельефом. В бассейне верхнего течения Вилья находится Вильюйское плато с высотой 962 м. Приленовое плато простирается дальше на юг. Вдоль побережья моря Лаптевых находится Северо-Сибирская

низменность высотой менее 100 м, и только в районах горно-ледникового рельефа они достигают 150–200 м.

Вся восточная Якутия, включая бассейны рек Алазеи, Индигирки, Джейн и частично Алдана и Лена (правосторонние притоки), является частью Верхоянско-Чукотской области мезозойской складчатости, неоднородный по рельефу и геологическому строению. Верхоянская цепь тянется вдоль правого берега реки Лена.

Рельеф Чукотского автономного района неоднороден. Горный регион Колима-Чукотка включает плато Анджуи, северную часть Чукотского плато и простирается на восток до Берингова пролива. Здесь преобладает низкоплановый рельеф. В бассейне рек Большой Анюй расположена группа вулканов. Охотско-Чукотский горный регион включает Анадырское нагорье и южную часть Чукотского плато. Здесь рельеф контрастный, имеет вид альпийского типа, средние горы представлены низкими горами и плоским рельефом впадин. Горный регион Анадыр-Кориак расположен на юго-востоке Чукотки. Значительная часть занята Коряк возвышенность, состоящая из гребней, разделенных впадинами. Низменность Анджуй, покрывающая нижние течения рек Большой и маленький Анджуй, Кетаган и Яровая, представляет собой болотистую, слегка холмистую равнину. Большая часть низменности занята районами с интенсивным развитием термокарста.

Морфоструктуры российской Арктики имеют продолжение на прилегающих территориях. Таким образом, рельеф Республики Коми преимущественно равнинный. С юго - востока на северо-запад простирается хребет Тимана, на востоке-хребты Северного, субполярного (высота до 1895 м, гора Народная) и Полярного Урала. Представлены карстовыми формами рельефа (кратеры, поля, пещеры). Между Уралом и Тиманским хребтом находится Печорская низменность.

Рельеф Ханты-Мансийского автономного района представлен сочетанием равнин, предгорий и гор. Выделяются возвышенные равнины (150–301 м), низкие плоскости (100–150 м), а также низины (менее 100 м). На поймах Обь и Иртыша абсолютные высоты составляют 10–50 м. Уральская часть района характеризуется срединным рельефом. Горная местность составляет 450 км в длину и 30–45 км в ширину.

## 2. Методы измерения и расчета концентрации на поверхности снега Требования к организации наблюдений.

При организации наблюдений за испарением со снега особое внимание следует уделить главному требованию — измерению испарения в условиях, наиболее близких к естественным, так как это важно при проектировании и изготовлении испарителей, выбора места для наблюдения, способов наполнения испарителей снежным монолитом и установки инструмента, а также порядка и способа проведения наблюдений. Идеальные условия для измерения испарения наличие стен и дна цилиндрического испарителя, изготовленных из прозрачного материала, не нагревающегося солнцем и имеют теплопроводность, приближенную к средней теплопроводности снежного покрова, а место проводимых исследований выбирается на ровном открытом пространстве, вдали от зданий, опушек леса и других препятствий, на расстоянии не менее 20-25 раз превышающем высоту  $Z_{\text{преп}}$ .

Приблизиться к натурным условиям очень непросто, поэтому на практике создаются максимально близкие параметры. Например, принятые можно назвать оптимальными, расстояние до места испарения снега от различных препятствий, равное  $10-15 Z_{\text{преп}}$  ( $Z_{\text{преп}}$  — средняя высота препятствия), поскольку при этом погрешности измерения хотя и возрастают по сравнению с измерениями на идеальном расстоянии  $20 - 25 Z_{\text{преп}}$ , но не выходят за пределы допустимых. В то же время при расстоянии  $10-15 Z_{\text{преп}}$  обеспечиваются на практике более широкие возможности выбора площадок на гидрометеорологических станциях. В шестидесятые годы 20-го века в ГГИ были разработаны основные положения по производству наблюдений за испарением с поверхности снежного покрова, в которых изложены теоретические и методические рекомендации по выбору снегоиспарительной площадки, принципы измерения испарения со снега, приборы и оборудование. [8]

## Приборы и оборудование.

На сети используется стандартный снеговой испаритель ГТИ-500-6 (площадью 500 см<sup>2</sup> и высотой 6 см) из дюралюминия или стального листа. Это отражается в тепловом режиме снежного монолита испарителя и несколько искажает его показания. Поэтому в будущем необходимо стремиться заменить металл достаточно прочным, но менее теплопроводным и прозрачным материалом, что улучшит работу испарителя, расширит его применение в горных районах и в безоблачную погоду с интенсивными солнечными лучами.

## Производство наблюдений.

Наблюдения на станциях проводятся одновременно с использованием двух стандартных испарителей снега, установленных в одинаковых условиях на участке на расстоянии от 0,5 до 0,7 м друг от друга. Испарение определяется данными по монолитам в предыдущем, текущем и последующем периоде наблюдения, но сравнение измерениями других гидрометеорологических элементов наблюдения являются сложными и трудоемкими процессом.

Необходимо строго соблюдать установленную процедуру проведения наблюдений, соблюдать постоянство времени измерения (07:00 и 19:00 среднее солнечное время) и выполнять задания, обеспечивающие качество результатов. Необходимо верно выбрать место для испарения снега, установить испаритель, сохранить снежного покрова на месте исследования и т. д.

Большое внимание следует уделить мониторингу состояния и площади снежного монолита в испарителе, который должен находиться на одном уровне с поверхностью окружающего снежного покрова, переносу снега ветром и атмосферными явлениями (снег, жидкие осадки и т. д.). Эта информация вводится в столбец аннотаций книги для записи наблюдений в конце каждого периода наблюдения. Основываясь на своих наблюдениях за атмосферными явлениями

на метеостанции, наблюдатель делает вывод о достоверности измеренного значения испарения за период исследования или о необходимости его исключения, отмечая пропуск наблюдений, в случае определения вероятности удаления снега с испарителя. [5]

#### Запись и обработка наблюдений.

Результаты наблюдений записываются в книжку в КСХ-11 и обрабатываются наблюдателем после окончания каждого срока наблюдений. По результатам наблюдений составляет месячная таблица суточных значений испарения и данных метеорологических наблюдений ТСХ-67. Технический контроль материалов наблюдений за испарением со снега, задачей которого является проверка правильности производства и обработки материалов наблюдений, осуществляется камеральная обработка.

Чтобы определить надежность наблюдательных данных, отбросить некачественные наблюдения и исправить неправильно рассчитанные данные в таблице ГМО УГКС, проводится критический контроль наблюдательного материала. Для управления составляется комбинированный хронологический график значений испарения, разницы в упругости водяного пара и скорости ветра, а также график взаимосвязи между значениями испарения, измеренными двумя идентичными устройствами.

Наиболее часто встречающиеся потери снега на испарении на открытой местности в среднем составляют около 0,3 мм/сут, наибольшие - около 1–2 мм/сут.

При критическом контроле целесообразно использовать еще один критерий - разность (расхождения) между показаниями двух параллельно работающих одинаковых испарителей ( $\Delta E = E_1 - E_2$ ). В нормальных условиях чаще всего (в 68 % всех случаев) расхождения  $\Delta E$  меньше или равны случайной средней квадратической погрешности измерения  $\sigma$ . Наиболее вероятное значение  $\sigma$  находится в зависимости от среднего значения измерения измеренного испаре-



ния  $\Delta E = E1 - E2/2$  с использованием таблицы 2.1.

Таблица 2.1 - Значения  $\sigma$  в зависимости от измеренного испарения E

|          |     |      |    |      |      |    |     |
|----------|-----|------|----|------|------|----|-----|
| E        | 0   | 0.10 | 0. | 0.30 | 0.50 | 1. | 2   |
| мм/сут   | .05 |      | 20 |      |      | 0  | .0  |
| $\sigma$ | 0   | 0.03 | 0. | 0.05 | 0.07 | 0. | 0   |
| мм/сут   | .02 |      | 04 |      |      | 11 | .21 |

В 32 % случаев  $\Delta E$  может превышать, а не более чем в 2 – 3 раза. Большие расхождения ( $\Delta E > 3\sigma$ ) свидетельствуют о плохом качестве наблюдений: наблюдатель не заметил явления сдувания или попадания снега в снежный монолит испарителя во время опыта или допустил погрешность при взвешивании монолита.

#### Случайные погрешности измерения.

Различают инструментальную погрешность измерения, которая определяется точностью измерения испарителя, и случайную ошибку наблюдателя или других явлений, например, конструктивных особенностей испарителя и метеорологических условий. Инструментальная ошибка в определении испарения в принятом временном интервале с площадью испарителя  $500 \text{ см}^2$  и точностью измерения монолита 1 г не превышает 0,02 мм.

Случайную среднюю квадратическую погрешность измерения, абсолютную  $\sigma$  (мм/сут) и относительную  $\sigma'$  (проценты) представилось возможным выражением эмпирическими формулами:

$$\sigma = 0,093E + 0,02 \#(2.1)$$

$$\sigma' = 9.3 + \frac{2}{E} \#(2.2)$$

Они получены на основании использования 633 пар суточных значений испарения, измеренных одновременно двумя испарителями ГТИ 500-6 на 10 гидрометстанциях. При интенсивности испарения, равной и меньше 0,02 мм/сут, случайные погрешности измерения становятся больше измеряемой величины. [6]

## 2.1. Методы расчета

Наблюдения по испарениям не решают окончательно проблему изучения снежного покрова. Во время снегопадов и метелей, также при выдувании и наметании снега ветром наблюдения по испарителям прерываются. Для территориального обобщения и освещения режима испарения во времени пользуются расчетными формулами, которые позволяют вычислить по данным метеорологических наблюдений на сети.

### Основные схемы расчета.

Наиболее обоснованными считаются расчеты испарения по градиентным наблюдениям и тепловому балансу. Формула для определения испарения по данным градиентных наблюдений имеет вид:

$$E = \frac{\chi 2 \rho_{\text{возд}} (q_1 - q_2)(u_1 - u_2)}{\frac{\ln z_2}{z_1} \times \frac{\ln z_4}{z_3}} \quad \#(2.3)$$

|    |                      |   |  |
|----|----------------------|---|--|
| гд | $\chi$               | — | постоянная Кармана;  |
| е  | $\rho_{\text{возд}}$ | — | плотность воздуха;   |
|    | $q_1$ и $q_2$        | — | удельная влажность воздуха на уровнях $z_1$ и $z_2$ над испаряющей поверхностью; |
|    | $u_1$ и $u_2$        |   | скорость ветра на уровнях $z_3$ и $z_4$ .  |

—

Представляя формулу (2.1) вместо  $\chi$  и  $\rho$  их значения 0.41 и 0.622 и принимая для уровня моря  $\rho_{\text{возд}} = 0.00125 \text{ г/см}^3$  и  $\rho_0 = 1013 \text{ гПа}$ , а также переходя от натуральных к десятичным логарифмам, получаем уравнение

$$E = \frac{2.11(e_1 - e_2)(u_4 - u_3)}{\frac{\ln z_2}{z_1} \times \frac{\ln z_4}{z_3}} \#(2.4)$$

где  $E$  — постоянная Кармана;  
 $e_1$  и  $e_2$  — в гПа;  
 $u_4$  и  $u_3$  — в м/с.

Испарение за сутки по средним значениям градиентов влажности воздуха и скорости ветра можно вычислить при условии, когда разность  $e_1$  и  $e_2$ ,  $u_4$  и  $u_3$  — изменяются в течении суток незначительно. При резко выраженной суточной скорости ветра и давлении водяного пара расчеты испарения рекомендуется производить за более короткие промежутки времени, например, часовые. В этом случае для выражения испарения в мм/ч в формуле (2.2) вместо коэффициента 2.11 следует принимать другое его значение — 0.088.

Формулы (2.1) и (2.2) не учитывают влияние адвекции и температурной стратификации в нижнем слое воздуха и являются пригодными для равновесных условий. Влияние температурной стратификации на процесс испарения сильно сказывается при малых скоростях ветра (меньше 2 м/с) и больших разностях между температурными испаряющей поверхности и воздуха на высоте 2 м (больше 4 – 5 °С). Влиянием адвекции также можно пренебречь, если градиент наблюдения проводить на достаточном уровне от различных препятствий (200 – 300 м), например, в центре открытого участка местности (0.10 км<sup>2</sup>).

Удовлетворительный результат по уравнению (2.2) возможно получить при достаточно точных, ежечасно повторяющихся измерениях градиентов влажности воздуха и скорости ветра. Любая таковая серия обязана включать изме-

рение скорости ветра по ветренным анемометрам длительностью 10 мин и отсчеты по психрометрам с пятикратной повторностью. [9]

Исходя из теории пограничного слоя (или так называемой теории пути смешения) и логарифмического закона распределения с высотой скорости ветра и влажности воздуха, можно построить формулу расчета испарения по разности давления водяного пара ( $e_{z_0} - e_2$ ) и скорости ветра:

$$E = \beta (e_{z_0} - e_2) \times u_1 \quad (2.5)$$

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| где               | $\beta$   |   |
|                   | $= \frac{0.622}{p_{apv}} \frac{\chi^2 p_{\text{возд}}}{\ln z_1/z_0 \times \ln z_2/z_0}$ |   |
| $e_{z_0}$         | —   | давление водяного пара на верхней границе слоя шероховатости; |
| $e_2$             | —   | давление водяного пара на уровне $z_2$ от поверхности;        |
| $z_0$             | —   | параметр шероховатости;                                       |
| $p_v$             | —   | плотность воды;   |
| $p_a$             | —   | давление атмосферы;   |
| $p_{\text{возд}}$ | —   | плотность воздуха;  |
| $u_1$             | —   | скорость ветра на уровне $z_1$ .                              |

Подставляя в правую часть для выражения  $\beta$  значения  $p_{\text{возд}} = 1.25 \text{ кг/м}^3$ ,  $p_v = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $p_a = 1013 \text{ гПа}$ ,  $\chi = 0.41$ ,  $z_0 = 0.05 \text{ см}$ ,  $z_2 = 200 \text{ см}$ ,  $z_1 = 1000 \text{ см}$  (скорость ветра в м/с измеряется на высоте флюгера), получаем  $\beta = 0.001451 \text{ гПа}$  при выражении  $E$  в м/с. При переходе к выражению испарения в мм/ч и мм/сут параметр  $\beta$  принимает значение, равные соответственно  $0.005 \text{ мм}/(\text{ч} \times \text{гПа} \times \text{м/с})$  и  $0.123 \text{ мм}/(\text{сут} \times \text{гПа} \times \text{м/с})$ . На практике в формуле (2.5) давление водяного пара  $e_{z_0}$  на верхней границе слоя шероховатости  $z_0$  обычно заменяют мак-

симальное давление  $e_0$ , вычисленным по температуре испаряющей поверхности  $T_0$ . Для этого вместо разности  $e_{z_0} - e_2$  в формулу вводят выражение  $m(e_{z_0} - e_2)$ , где параметр  $m \frac{e_{z_0} - e_2}{e_0 - e_2}$  определяют исходя из данных градиентных наблюдений, принимая, например,  $e_{z_0} = e_2 + 3.6(e_{0.2} - e_2)$  при  $z_0 = 0.05$  см.

После замены  $e_{z_0}$  на  $e_0$  формула (2.5) принимает простой вид, однако определение параметра шероховатости  $z_0$ , который изменяется в больших пределах, встречается известные трудности. Для районов с устойчивым снежным покровом высотой более 15 – 20 см коэффициент  $z_0 = 0.05$  см, для  $z_0 = 0.25$  см и для очень шероховатой поверхности при наличии выступающей над снегом стерни и стеблей травы  $z_0 = 0.60$  см. Соответственно изменяются и значения параметра  $\beta$ .

Для различных  $z_0$  в табл. 1 даны числовые значения параметра  $\beta$  в формуле (2.5) для тех случаев, когда скорость света измерена на высоте флюгера (10 м) и на высоте 2 м. в обоих случаях имеется в виду, что температура и парциальное давление водяного пара измерены на высоте психометрической будки (2 м).

Таблица 2.2 – Численные значения параметра  $\beta$  в формуле (2.5)

| $z_0$   | 0.05  | 0.25  | 0.60  |
|---|-------|-------|-------|
| $\beta_{10}$ мм/(сут $\times$ гПа $\times$ м/с) | 0.123 | 0.185 | 0.247 |
| $\beta_2$ мм/(сут $\times$ гПа $\times$ м/с)    | 0.146 | 0.221 | 0.295 |

Другим физически обоснованным способом определения испарения является метод теплового баланса. Соответствующая формула имеет вид

$$E = \frac{10^3(R_{\text{бал}} - B - \Delta H_{\text{ср}} - H_p)}{L_1 \rho \left(1 + \frac{C_{\text{возд}} \times P_a \Delta T}{0.622 \times L_1 \Delta e}\right)} \#(2.6)$$

- де
- $R_{\text{бал}}$  – радиационный баланс толщин (деятельного слоя) снежного покрова;
  - $B$  – теплообмен снежного покрова с почвой (поток тепла в почву);
  - $\Delta H_{\text{ср}}$  – расход тепла в толще снега на изменении его средней температуры при отрицательных температурах или таяние снега во время оттепели;
  - $H_p$  – изменение количества теплота снежного покрова за счет проходящих осадков;
  - $L_1$  – удельная теплота возгонки снега (2847 кДж/кг);
  - $C_{\text{возд}}$  – удельная теплоемкость воздуха (1.005 кДж/(кг×°C));
  - $P_a$  – давление атмосферы (1013 гПа);
  - $\Delta T, \Delta e$  – разности температуры в °C и давление водяного пара в гПа, ( $\Delta T = T_2 - T_{0.2}$  и  $\Delta e = e_2 - e_{0.2}$ ) на уровнях 2 и 0.2 м.

В формуле (2.6) испарение  $E$  выражено в мм/ч, потоки тепла  $R_{\text{бал}}$ ,  $B$ ,  $H_{\text{ср}}$ ,  $H_p$  – Дж/(м<sup>2</sup>/ч), плотность воды  $\rho_v$  в кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_v = 10 \text{ кг/м}^3$ ).

Уравнение (2.6) не содержит каких-либо статистических параметров, в чем и заключается большее принципиальное преимущество метода теплового баланса. На практике для использования метода необходимо организация непрерывной регистрации потока тепла и градиентов температуры и влажности воздуха с достаточной точностью. Особенно большая точность измерения соответствующих теплового баланса требований при определении малых значений,

таких, как испарение со снега. Этим объясняется, почему формула (2.2) и (2.6), несмотря на их высокую теоретическую обоснованность, до сих пор не получил широкого распространения и используется главным образом в научных исследованиях. [10]

Формула (2.5) дает удовлетворительные результаты лишь в узком диапазоне значений скорости ветра (от 2 до 4 – 5 м/с). Частично это можно объяснить несовершенством существующих методов определения параметра  $z_0$  и коэффициента турбулентного обмена  $\beta$ , а главное – недостатком конструкции формулы (2.5), согласно которой рассчитываемое значение испарения оказывается прямо пропорционально скорости ветра.

В реальности приращение значения испарения с увеличением скорости ветра случается наиболее интенсивно в диапазоне наибольших скоростей ветра (0 – 2 м/с), принимает некоторое определенное значение в диапазоне средних скоростей (примерно от 2 до 5 м/с) и быстро затухает начиная с 5 – 6 м/с и выше. [14]

В настоящее время наибольшее распространение на практике получили эмпирические формулы. Физически наиболее обоснованной является формула

$$E = (\alpha + \beta u_{10})(e_0 - e_2) \quad (2.7)$$

выражающая зависимость испарения от скорости ветра на высоте флюгера  $u_{10}$  и разность  $(e_0 - e_2)$  между максимальным давлением водяного пара ( $e_0$ ), вычисленным по данным срочных наблюдений за температурой поверхности снега и давлением водяного пара на уровне 2 м ( $e_2$ ).

При отсутствии данных наблюдений за температурой поверхности снега может быть использована приближенная формула

$$E = (a + bu_{10}) \times d_2 \quad (2.8)$$

где  $d_2$  – дефицит влажности воздуха на уровне 2 м, остальные обозначения прежние.

В формулах (2.7) и (2.8) подставляют средние данные за сутки или за  $n$  суток значения  $u_{10}$  (м/с),  $(e_0 - e_2)$  и  $d_2$  (гПа) и получаем в первом случае испарение непосредственно за сутки (мм/сут), а во втором (после умножения результатов вычисления на  $n$ ) – сумму испарения за  $n$  суток (мм).

Способы определения параметров формул.

Статистические параметры –  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$  и  $b$  формул (2.7) и (2.8) определяются путем построения графика зависимости суточных отношений  $E/(e_0 - e_2)$  и  $E/d_2$  от средней суточной скорости ветра  $u$  и проведения по центру тяжести точек линий связи. Если эта связь выражается прямой линией, параметры  $\alpha$  и  $a$  определяются по отрезку на оси ординат, отсекаемому прямой,  $\beta$  и  $b$  – по тангенсу угла прямой к горизонтальной оси. Чтобы избежать большого разброса точек на графике, на него наносят осредненные по группам из 5 суток значения  $E/(e_0 - e_2)$ ,  $E/d_2$  и  $u_{10}$ . При составлении групп хронологический порядок не учитывается. Главным является требование, чтобы каждая из групп состояла по возможности из одинаковых по своей величине и знаку измерений суточных значений испарения или конденсации. Для этого подбираются данные, полученные по измерениям в любые дни месяца и сезона. В зависимости от объема материалов наблюдений, использованные для определения параметров формул, предназначенные для вычисления фоновых значений испарения на больших площадях, и региональные – для определения испарения в данном пункте.

Для определения параметров обобщенных (глобальных) формул используются данные наблюдений за многолетний период в большом числе пунктов, расположенных наблюдений 25 сетевых станций (1229 измеренных суточных значений испарения) П.П. Кузьмин получены следующие формулы

$$E = (0.18 + 0.10u_{10})(e_0 - e_2) \quad (2.9)$$

$$E = (0.24 + 0.05u_{10}) \times d_2 \quad (2.10)$$



Которыми можно пользоваться для расчета испарения (мм/сут) за периоды продолжительностью не более одного месяца. Для территории, включающей районы с различными метеорологическими условиями, расчет по формулам (2.9) и (2.10) производится для каждого из этих районов в отдельности, а среднее для территории испарение вычисляется путем осреднения полученных данных.

Формула (2.9) с коэффициентами 0.18 и 0.10 была получена в 1953 году на основании массовых данных периодических наблюдений различных авторов и была подтверждена М.И. Ивероновой в 1960 году на основании другого обширного материала, собранного преимущественно для горных районов.

#### Определение параметров региональных формул.

Для определения параметров региональных формул требуется число  $N$  измеренных на данной станции суточных значений испарения и соответствующих средних суточных значений испарения и соответствующих средних суточных значений  $u_{10}$ ,  $e_0$ ,  $e_2$ . С увеличением численности ряда  $N$  повышается надежность и точность определения параметров, поэтому параметры региональных формул определяются, как правило, лишь при наличии многолетнего ряда наблюдений в данном пункте. Анализ материалов показывает, что достаточно устойчивые значения параметра получаются при  $N > 100$ . Значение  $N \approx 50$  является нижним пределом, при котором еще возможно приближение определения параметров. [15]

При достаточном числе данных измерений параметры формулы (2.7) определяется следующим образом. По материалам наблюдений, прошедшим по станциям и в ГМО технический и критический контроль, составляется таблица суточных значений испарения со снега и средних суточных данных метеорологических наблюдений по форме

|      |            |                   |              |                        |
|------|------------|-------------------|--------------|------------------------|
| Дата | $E$ мм/сут | $(e_0 - e_2)$ гПа | $u_{10}$ м/с | $E/(e_0 - e_2)$ мм/гПа |
|------|------------|-------------------|--------------|------------------------|

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|

Из таблицы исключаются дни со скоростью ветра, равные нулю или более 7 м/с, значениями отношения  $E/(e_0 - e_2)$ , изменяющие отрицательный знак или равны нулю и больше единицы. Остальные данные используются для определения параметров  $\alpha$  и  $\beta$  указанным выше способом, основанным на построение корреляционного графика зависимости.

$$\frac{E}{(e_0 - e_2)} = f[u_{10}] \#(2.11)$$

Для взаимной увязки и контроля результатов, полученных графическим способом по зависимости (2.11), может быть применен упрощенным способом определения параметров уравнение. Значение  $\beta$  может быть определено как

$$\beta = \frac{\overline{E}}{\overline{(e_0 - e_2)} - a} \cdot \frac{a}{\bar{u}_{10}} \#(2.12)$$

исходя из средних значение  $\overline{E}$ ,  $\overline{(e_0 - e_2)}$  и  $\bar{u}_{10}$ , вычисленных для всей совокупности данных основанной таблицы суточных величин, за исключением дней с критическими значениями  $u_{10} = 0$ ,  $u_{10} > 7$  м/с,  $E/(e_0 - e_2) = 0$ ,  $E/(e_0 - e_2) > 1.00$  и  $E/(e_0 - e_2)$  с отрицательными знаками.

Значение параметра  $\alpha$  за отдельные сутки, как это следует из формулы (2.7), может быть найдено по данным суточных значений  $E$  и  $(e_0 - e_2)$  при скоростях ветра равных нулю из соотношения

$$\alpha_{u=0} = \frac{E}{(e_0 - e_2)} \#(2.13)$$

В формулу (2.12) подставляется среднее значение, определяемое в соответствии с отношением (2.13) по большому числу данных суточных измерений испарения при  $u_{10} = 0$ .

На основании данных многочисленных наблюдений сетевых станций и специальных исследований было установлено среднее значение  $\alpha = 0.18$ . Отклонение от 0.18 значений  $\alpha$  в отдельные дни и для отдельных пунктов несущественны и не отражаются заметным образом на результатах вычисления испарения по формуле (2.7). Определение  $\alpha$  с помощью отношения (2.13) по ограниченным данным наблюдений (при  $N < 50$ ) может привести к грубым ошибкам. В связи с этим в дальнейшем при построении региональных формул всюду принималось постоянное значение  $\alpha = 0.18$ ; параметр  $\beta$  определяется графическим методом с помощью зависимости (2.11), таким образом, чтобы линия связи проходила через точку, отсекающую на оси ординат отрезок, равный принятому значению  $\alpha$ .

Аналогично описанному определялись параметры  $a$  и  $b$  формулы (2.8), которая отличается от формулы (2.7) лишь земной разности  $(e_0 - e_2)$  дефицитом влажности воздуха  $d_2$ . Например, формула для приближенного определения параметра  $b$  аналогично формуле (2.12) имеет вид

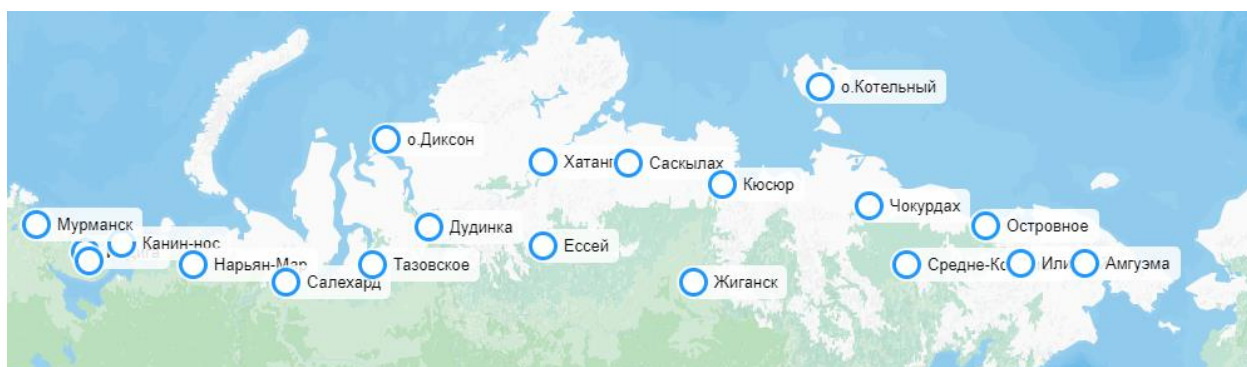
$$b = \frac{E}{(\bar{d}_2 - a) \bar{u}_{10}} \quad \#(2.14)$$

Для некоторых станций с достаточным числом наблюдений в ГГИ были определены параметры формул (2.7) и (2.8).

3. Результаты исследования определения испарения с поверхности снежного покрова.

Смысл настоящей работы заключался в том, чтобы сравнить испарение со снежного покрова в Арктической зоне России за два периода: первый до 1960 года и второй с 1986 – 2015 года. За первый период испарение с поверхности снега было оценено в исследованиях, проведенных ранее на кафедре инженерной гидрологии нашего университета [13]. Результаты этих исследований представлены в виде карт испарения, приведенных на рис.3.1–3.3 [приложение]. Метеостанции, по данным наблюдений которых проводились наши расчеты за второй период, представлены на рис.3.4.

Рисунок 3.4. – Метеостанции, по данным которых проводились исследования за второй период



Испарение с поверхности снежного покрова за оба периода рассчитывалась по формуле, полученной на кафедре инженерной гидрологии РГГМУ [12]

$$E = 0,31 \sum d \#(3.1)$$

где  $\sum d$  – сумма среднесуточных значений дефицита влажности воздуха за расчетный период.

Для выполнения расчета испарения за период залегания снежного покрова кроме дефицита влажности воздуха нужно знать еще средне многолетние даты установления снежного покрова и его схода за первый период эти даты и значения среднемноголетнего дефицита влажности воздуха определялись по Справочнику по климату СССР таблица 3.1.

Таблица 3.1 – Даты для расчета дефицита для 1 периода.

| Станция               | Дата установления<br>снежного покрова | Дата схода снежно-<br>го покрова | Е, мм |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------|
| 22292, Индига         | 03.11                                 | 30.05                            | 29    |
| 22165, Канин Нос      | 13.11                                 | 30.05                            | 39    |
| 23205, Нарьян-Мар     | 27.10                                 | 24.05                            | 35    |
| 23330, Салехард       | 15.10                                 | 28.05                            | 27    |
| 23256, Тазовское      | 07.10                                 | 02.06                            | 21    |
| 20674, о. Диксон      | 02.10                                 | 15.06                            | 17    |
| 23074, Дудинки        | 07.10                                 | 05.06                            | 27    |
| 20891, Хатанга        | 29.09                                 | 09.06                            | 22    |
| 24105, Ессей          | 04.10                                 | 30.05                            | 33    |
| 21802, Саскылах       | 26.09                                 | 03.06                            | 25    |
| 24343, Житанск        | 03.10                                 | 18.05                            | 33    |
| 21921, Кюсюр          | 28.09                                 | 02.06                            | 34    |
| 21432, о. Котельный   | 16.09                                 | 24.06                            | 13    |
| 21946, Чокурдах       | 25.09                                 | 06.06                            | 14    |
| 25206, Средне-Колымск | 03.10                                 | 21.05                            | 29    |
| 25138, Островное      | 28.09                                 | 22.05                            | 38    |
| 25248, Илирней        | 29.10                                 | 02.06                            | 29    |
| 25372, Амгуэма        | 04.10                                 | 12.06                            | 28    |

При расчете испарения за второй период возникли затруднения, связанные с отсутствием данных как по дефициту влажности, так и по датам установления и схода снежного покрова. Сведения об этих данных в настоящее время не приводятся ни на бумажных, ни на электронных носителях. Из характеристик влажности воздуха и температуры на электронном ресурсе [meteo.ru](http://meteo.ru) [11] можно найти только месячные данные по давлению водяного пара и относительной влажности таблица 3.2 [приложение].

Поэтому в настоящей работе мы попытались использовать приближенные значения месячного дефицита влажности, определяемая по формуле

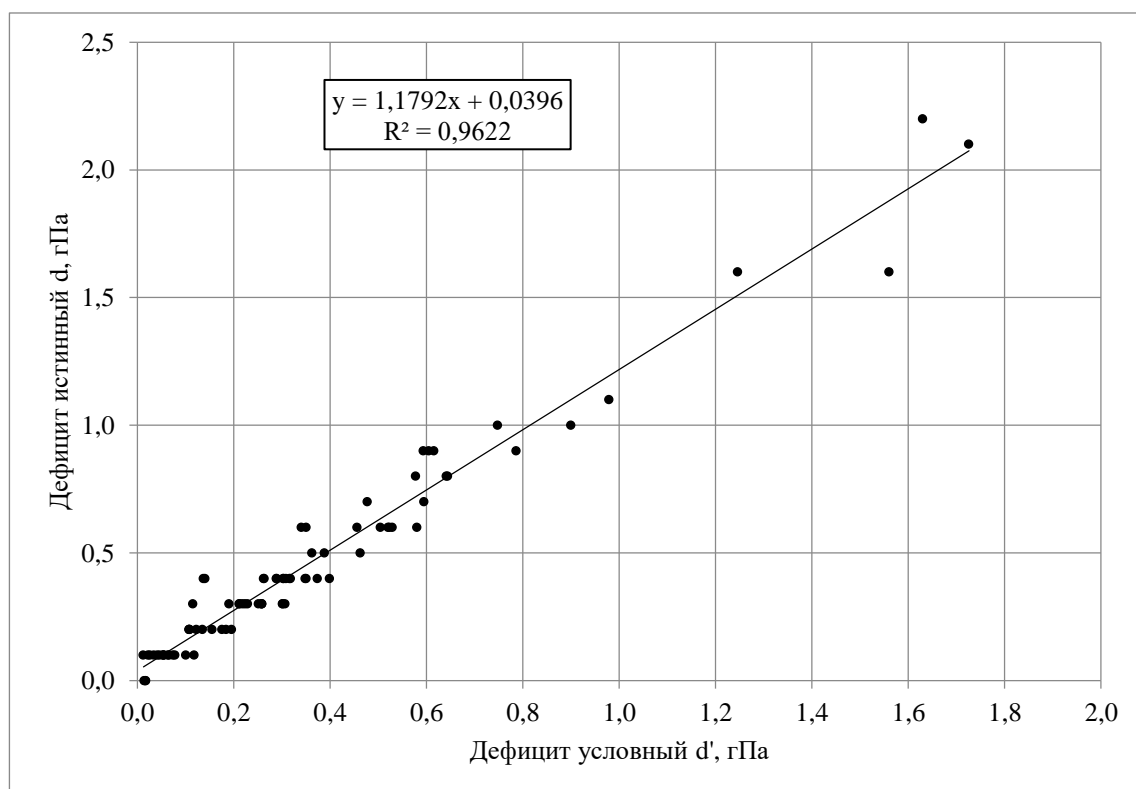
$$d' = e_0 (1 - 0,01 r) \quad \#(3.2)$$

где  $e_0$  – месячное значение давления (гПа) насыщенного водяного пара в воздухе, определяемого по средней за месяц температуре воздуха;

$\gamma$  – месячное значение относительной влажности воздуха (%). Все величины, входящие в формулу (2) – есть средние многолетние величины за соответствующие месяцы периода залегания снежного покрова таблица 3.3 [приложение].

Необходимо было установить, насколько величина  $d'$  соответствует величине  $d$ , то есть значениям дефицита влажности воздуха, определяемая правильными традиционными методами. Для этого по ряду метеостанций, расположенным в северных районах России и Справочники по климату СССР были за холодный период выписаны месячные значения температуры, относительной влажности и дефициты влажности воздуха  $d$  таблица 3.4 [приложение], и было проведено сравнение величин  $d$  и  $d'$ , определяемых по формуле (2) Это сравнение показано на рис. 3.5.

Рисунок 3.5 – Зависимость величин  $d$  и  $d'$ .



Данные рис. 3.5 показывают, что связь между  $d$  и  $d'$  с коэффициентом корреляции равным 0,98. Эту связь можно выразить уравнением

$$d = 1,18dd' + 0,04 \#(3.3)$$

Отсюда месячный дефицит влажности, используемый при расчетах испарения за второй период определялся следующим образом. Сначала по значениям относительной влажности воздуха и температуры воздуха определялись значения  $d'$ , которые по формуле (3.3) пересчитывались в величины  $d$ , применяемые при использовании уравнения (3.1) для расчетов испарения с поверхности снежного покрова таблица 3.5.

Таблица 3.5 – Дефицит влажности (гПа) для 1 периода.

| д<br>'усл | д<br>наст |
|-----------|-----------|
| 0         | 0         |
| ,3        | ,4        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,3        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,4        |
| 0         | 0         |
| ,5        | ,6        |
| 0         | 1         |
| ,9        | ,0        |
| 0         | 0         |
| ,5        | ,6        |
| 0         | 0         |
| ,4        | ,5        |
| 0         | 0         |
| ,2        | ,3        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,4        |
| 0         | 0         |
| ,6        | ,8        |
| 1         | 2         |
| ,6        | ,2        |
| 0         | 0         |
| ,6        | ,8        |
| 0         | 0         |
| ,4        | ,4        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,3        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,3        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,4        |
| 0         | 0         |
| ,6        | ,8        |
| 1         | 2         |
| ,7        | ,1        |
| 0         | 0         |
| ,5        | ,5        |
| 0         | 0         |
| ,3        | ,4        |

|    |    |
|----|----|
| 0  | 0  |
| ,3 | ,3 |
| 0  | 0  |
| ,3 | ,3 |
| 0  | 0  |
| ,3 | ,3 |
| 0  | 0  |
| ,6 | ,7 |
| 1  | 1  |
| ,0 | ,1 |
| 0  | 0  |
| ,8 | ,9 |
| 0  | 0  |
| ,5 | ,6 |
| 0  | 0  |
| ,4 | ,4 |
| 0  | 0  |
| ,2 | ,2 |
| 0  | 0  |
| ,2 | ,2 |
| 0  | 0  |
| ,3 | ,4 |
| 0  | 0  |
| ,6 | ,9 |
| 1  | 1  |
| ,2 | ,6 |
| 0  | 0  |
| ,5 | ,6 |
| 0  | 0  |
| ,3 | ,3 |
| 0  | 0  |
| ,2 | ,3 |
| 0  | 0  |
| ,2 | ,3 |
| 0  | 0  |
| ,3 | ,4 |
| 0  | 1  |
| ,7 | ,0 |
| 0  | 0  |
| ,6 | ,6 |
| 0  | 0  |
| ,3 | ,4 |
| 0  | 0  |





Для определения дат установления и схода снежного покрова использовались их связи с датами устойчивого перехода температуры воздуха соответственно в сторону понижения и в сторону повышения таблица 3.5. Эти связи показаны на рис. 3.6 и 3.7.

На рис. 3.6 представлена связь между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C в сторону понижения и датами установления устойчивого снежного покрова ( $Dy$ ).

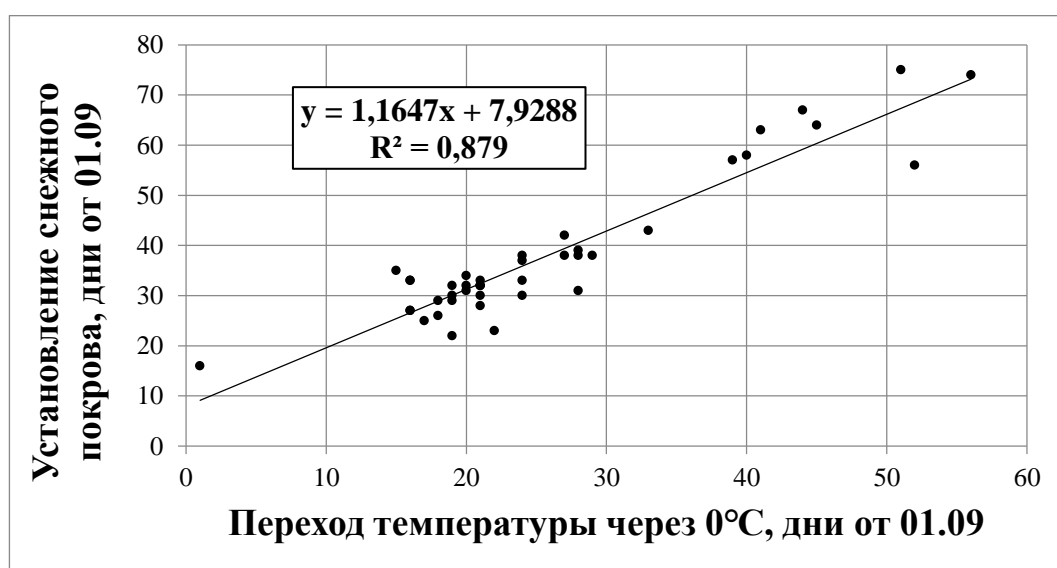


Рисунок 3.6. – Зависимость между переходом через 0°C и установлением снежного покрова.

Данные рис. 3.6 показывают, что эта связь может быть выражена уравнением

$$Dy = 1,16 Dt + 8 \quad \#(3.4)$$

Теснота связи оценивается коэффициентом корреляции, равным 0,94. Стандартная погрешность определения  $Dy$  по этому уравнению составляет 5 суток.

На рис.3.7 представлена связь между датами схода (разрушения) снежного покрова (Da) и датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C в сторону повышения (Dt). Эта связь выражается уравнениями

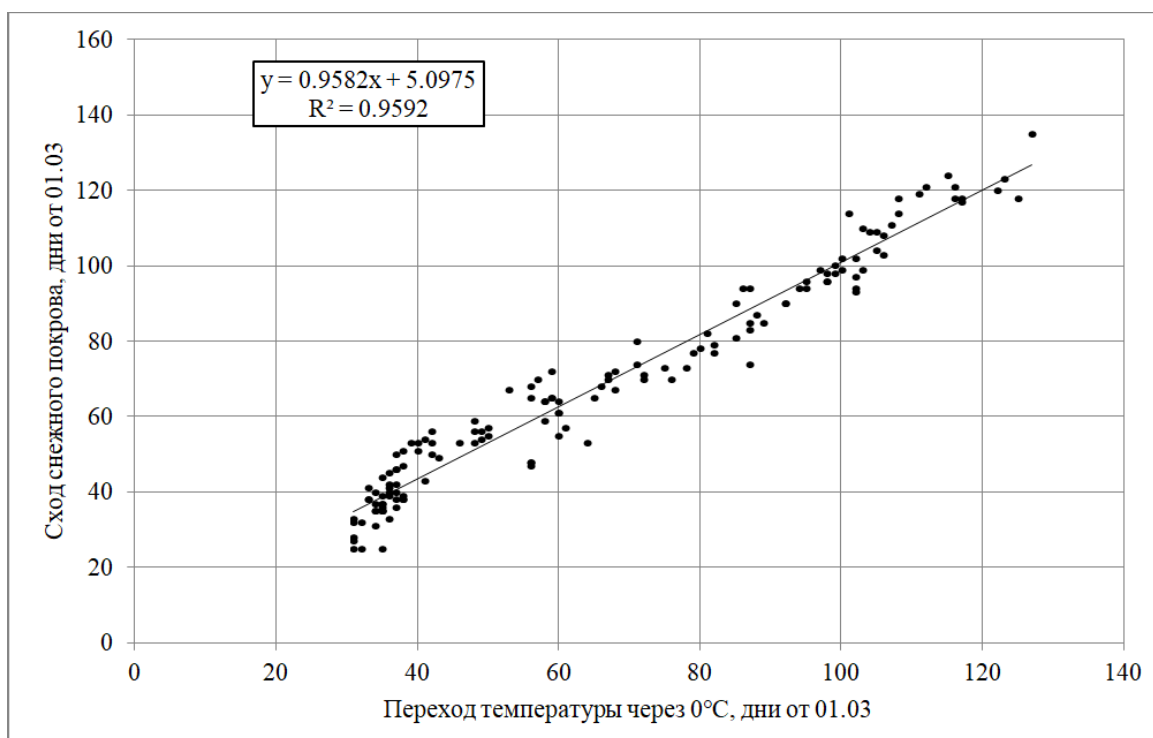


Рисунок 3.7. – Зависимость между переходом через 0°C и сходом снежного покрова.

Данные показывают, что эта связь выражается уравнением

$$Da = 0.96 Dt + 5 \quad \#(3.5)$$

При котором корреляция равна 0,98.

Полученные уравнения (3.4) и (3.5) использовались в работе для определения соответственно дат установления и дат схода снежного покрова в окрестностях данной метеостанции.

Мы считали, что и в период 1986 – 2015 годы полученные связи сохраняются. Поэтому, определив дни перехода через ноль температуры, можно по полученным уравнениям определить и дни установления и схода снега. А затем эти дни переводить в календарные даты.

Итак, за период 1986 – 2015 по описанной методике определились средние многолетние месячные значения дефицита влажности воздуха и средние многолетние даты установления и схода снега. Было установлено следующее. Почти на всех станциях осенний переход через 0 °С стал происходить позднее. В среднем это значение составило 3 дня. В весенний период на всех станциях температура стала переходить через ноль раньше. В среднем на 5 суток. Установление снежного покрова на большинстве станций стало происходить позже. В среднем это запаздывание составило 3 дня. Сход снежного покрова на всех станциях стал происходить раньше. В среднем на 5 дней. Таким образом, период залегания снежного покрова сократился на 8 дней таблица 3.2.

Таблица 3.6. – Сравнение испарения со снежного покрова от даты установления до схода снежного покрова за 1 и 2 периоды.

| Станция               | Е за первый период, мм | Е за второй период, мм | Изменение |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| 22292, Индига         | 29                     | 34                     | 5         |
| 22165, Канин Нос      | 39                     | 35                     | -4        |
| 23205, Нарьян-Мар     | 35                     | 38                     | 3         |
| 23330, Салехард       | 27                     | 34                     | 7         |
| 23256, Тазовское      | 21                     | 28                     | 7         |
| 20674, о. Диксон      | 17                     | 25                     | 8         |
| 23074, Дудинки        | 27                     | 30                     | 3         |
| 20891, Хатанга        | 22                     | 25                     | 3         |
| 24105, Ессей          | 33                     | 30                     | -3        |
| 21802, Саскылах       | 25                     | 23                     | -2        |
| 24343, Житанск        | 33                     | 34                     | 1         |
| 21921, Кюсюр          | 34                     | 30                     | -4        |
| 21432, о. Котельный   | 13                     | 26                     | 13        |
| 21946, Чокурдах       | 14                     | 22                     | 8         |
| 25206, Средне-Колымск | 29                     | 27                     | -2        |
| 25138, Островное      | 38                     | 33                     | -5        |
| 25248, Илирней        | 29                     | 26                     | -3        |
| 25372, Амгуэма        | 28                     | 27                     | -1        |
| Среднее               | 27                     | 29                     |           |

Расчеты испарения проводились по формуле (3.1) за каждый месяц, затем суммировались месячные результаты. За месяцы, в которые снежный по-

кров устанавливался или сходил, испарение также сначала определялось по формуле (3.1), а затем умножалось на дробь, в числителе которой было число дней этого месяца, в течение которых снег присутствовал, а в знаменателе – число дней в данном месяце. Согласно формуле, по которой рассчитывали испарение, оно зависит как от суммы дефицита влажности воздуха, так и от продолжительности расчетного периода. В данном случае оба этих фактора вносят противоречивые вклады в определение испарения: период залегания снежного покрова сокращается, а температура воздуха растет, значит, растет и дефицит влажности воздуха.

Сравнение результатов по испарению за первый и второй период показывает, что на 12 из 18 станций испарение за второй период по сравнению с первым увеличилось или осталось прежним. На остальных 5 станциях испарение уменьшилось. Как увеличение, так и уменьшение испарения во втором периоде по сравнению с первым составляет несколько мм. В среднем по данным станциям рассчитанное испарение за первый период составило 26 мм, а за второй 28 мм.

## Заключение

В настоящей работе сделана попытка оценить испарение с поверхности снежного покрова на территории материковой части российской Арктики в современных условиях, т.е. в условиях изменяющегося климата, конкретно, за тридцатилетний период с 1986 по 2015 год.

За южную границу Арктики принималась широта Северного полярного круга ( $\varphi=66^{\circ}33'$ ). В задачи работы входила не только оценка испарения с поверхности снежного покрова за указанный период, но и сравнение полученной оценки, с результатами определения испарения за предыдущее время для условий стационарного климата, полученными ранее на кафедре инженерной гидрологии Российского государственного гидрометеорологического университета.

В результате этих исследований было установлено, что, в среднем, испарение с поверхности снега за период его залегания составляет около 20% от выпавших осадков и около 30% от запасов воды в снеге перед началом весеннего снеготаяния. Таким образом, такое испарение приводит к заметному уменьшению весенних снегозапасов, а значит, и стока весеннего половодья. Поэтому, по-видимому, можно считать, что определение величин испарения с поверхности снежного покрова в Арктической зоне имеет как научный, так и практический интерес.

Испарение за период 1986–2015 гг. определялось в общей сложности по 19 станциям, более или менее равномерно расположенными по долготе в Арктической зоне. Если при проведении упомянутых исследований на кафедре инженерной гидрологии необходимые исходные данные можно было найти в Справочнике по климату СССР, то при расчетах испарения за второй период мы столкнулись с проблемой отсутствия таких данных. Нам пришлось косвенным путем определять величины среднего многолетнего дефи-

цита влажности воздуха, а также средние многолетние даты установления и схода снежного покрова на выбранных станциях. Дефицит влажности воздуха определялся по статистической его связи с условным дефицитом влажности, определенном по среднемесячным значениям температуры и относительной влажности воздуха, а даты установления и схода снежного покрова по связям их с датами устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов в осенний и весенний периоды. Было установлено, что среднеквадратическая погрешность определения таким образом дат установления и схода снежного покрова в обоих случаях составляет 5 суток.

Сравнение результатов за период 1986–2015 гг. с результатами, полученными ранее на кафедре инженерной гидрологии за период, относящийся к эпохе стационарного климата показало следующее. Установление снежного покрова на подавляющем большинстве станций стало происходить на несколько дней позже, в среднем такое запаздывание составило 3 дня. Сход снежного покрова на всех станциях стал происходить раньше, средняя величина опережения прежних дат составляет 5 дней. Таким образом, период залегания снежного покрова сократился в среднем по территории Арктической зоны России на 8 суток.

Расчеты испарения проводились за каждый месяц, затем суммировались месячные результаты. Согласно формуле, по которой рассчитывали испарение, оно зависит как от суммы дефицита влажности воздуха, так и от продолжительности расчетного периода. В данном случае оба этих фактора вносят противоречивые вклады в определение испарения: период залегания снежного покрова сокращается, а температура воздуха растет, значит, растет и дефицит влажности воздуха.

Сравнение результатов показывает, что на 10 из 18 станций испарение за второй период по сравнению с первым увеличилось или осталось прежним. На остальных 8 станциях испарение уменьшилось. Как увеличение, так и уменьшение испарения во втором периоде по сравнению с первым состав-

ляет всего несколько мм. В среднем по данным станциям рассчитанное испарение за первый период составило 27 мм, а за второй 29 мм.

Из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что испарение с поверхности снежного покрова в Арктической зоне России в современных условиях остается очень близким к тому испарению, которое имело место в эпоху стационарного климата.



## Список используемых источников

1. Алпатьев А.М. Перченко Ф.Ф. Суммарное испарение с поверхности снежного покрова на Европейской территории СССР. – Изв. ВГО, 1963, т. 95, № 6, с. 495 – 503.
2. В.И. Кузнецов. Испарение со снежного покрова. – Труды ГГИ, 1964, вып. 109, стр. 3 – 57
3. Воейков А.И. Влияние снеговой поверхности на климат. – Избранные сочинения. 1949, том. 2, с. 9 – 14.
4. Кузнецов В.И. Испарение со снежного покрова//Тр. ГГИ – 1964. – Вып. 109. с. 3 – 56.
5. Кузьмин П.П. К методике исследования и расчета с поверхности снежного покрова. – Труды ГГИ, 1953, вып. 41 (95), стр. 34 – 52
6. Кузьмин П.П. О расчетных и экспериментальных способах определения испарения с поверхности снежного покрова. – Труды ЗаКНИГМИ, 1974, вып. 58(64), с. 25 – 43.
7. Малинин В.Н. Гордеева С.М. Гурьянова Д.А. Малопараметрическая модель увлажнения северо-западного региона России для условий современного изменения климата. //Ученые записки РГГМУ, 2014, №36, с. 32 – 48.
8. Материалы наблюдений над испарением с поверхности снежного покрова 1963 – 1975 гг. – Фотоофсетная лаборатория ВНИГЛ ГГИ, 1976. – 146 с.
9. Методы изучения и расчета водного баланса. Л.:Гидрометиздат, 1981, 397 с.
10. Методы изучения и расчетов водного баланса. Ленинград. Гидрометиздат 1981год, гл. 10 стр. 266 – 283
11. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России [Электронный ресурс]. Режим досту-

- па: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters> (дата обращения: 24.02.2022).
12. Постников А.Н. Испарение со снежного покрова за период его залегания на территории России. //Ученые записки РГГМУ, 2016 № 42, с.55–63.
  13. Постников А.Н. Испарение с поверхности снежного покрова в арктической зоне России
  14. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидромеиздат. 1976, с. 96.
  15. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки. Л.: Гидромеиздат. 1966.
  16. Указания по расчету испарения с поверхности суши (проект). – Фотоофсетная лаборатория ВНИГЛ ГГИ, 1970, с. 55.
  17. Физико-географическая характеристика АЗРФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.iwlearn.org/publications/da\\_res\\_ru/Content/ch1.htm](http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.iwlearn.org/publications/da_res_ru/Content/ch1.htm) (дата обращения: 22.04.2022).

## Приложение

Таблица 3.2 – Исходные данные температуры и относительной влажности воздуха для 2 периода.

| Станция               |   | январь | февраль | март  | апрель | май  | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
|-----------------------|---|--------|---------|-------|--------|------|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| 20674, о. Диксон      | t | -25,3  | -25,1   | -21,9 | -16,6  | -7,0 | 0,6  | 5,3  | 5,2    | 1,8      | -7,5    | -17,3  | -22,5   |
|                       | r | 83,0   | 83,1    | 84,3  | 84,0   | 87,4 | 89,9 | 89,0 | 89,5   | 88,3     | 87,4    | 85,7   | 83,2    |
| 20891, Хатанга        | t | -32,2  | -31,8   | -25,7 | -16,5  | -5,4 | 6,1  | 12,7 | 9,2    | 1,8      | -11,6   | -24,4  | -29,2   |
|                       | r | 77,4   | 78,7    | 78,9  | 78,5   | 79,5 | 72,6 | 70,5 | 79,0   | 83,1     | 84,7    | 81,3   | 78,1    |
| 21432, о. Котельный   | t | -29,3  | -29,7   | -27,0 | -19,4  | -8,1 | -0,1 | 3,2  | 2,5    | -0,9     | -10,0   | -21,0  | -26,8   |
|                       | r | 81,4   | 81,3    | 82,3  | 83,7   | 86,5 | 89,6 | 90,0 | 91,5   | 89,8     | 87,5    | 84,1   | 81,7    |
| 21802, Саскылах       | t | -34,5  | -34,4   | -27,4 | -18,0  | -6,0 | 6,0  | 11,6 | 8,5    | 1,1      | -12,6   | -27,3  | -32,1   |
|                       | r | 73,7   | 74,6    | 74,7  | 75,1   | 79,8 | 72,8 | 71,7 | 78,5   | 83,3     | 83,3    | 77,7   | 74,8    |
| 21921, Кюсюр          | t | -37,0  | -34,6   | -25,5 | -14,1  | -2,0 | 8,6  | 13,1 | 9,9    | 2,5      | -11,1   | -29,1  | -34,9   |
|                       | r | 74,9   | 75,7    | 74,5  | 70,5   | 71,0 | 66,9 | 69,7 | 76,6   | 78,0     | 81,3    | 77,9   | 75,4    |
| 21946, Чокурдах       | t | -33,7  | -33,0   | -27,1 | -17,6  | -5,0 | 6,3  | 10,8 | 7,8    | 1,3      | -11,0   | -24,4  | -31,5   |
|                       | r | 78,3   | 78,8    | 79,2  | 80,0   | 80,8 | 74,1 | 75,0 | 81,6   | 87,0     | 88,5    | 83,6   | 79,6    |
| 22113, Мурманск       | t | -9,7   | -9,2    | -4,9  | -0,4   | 4,5  | 9,7  | 12,9 | 11,4   | 7,4      | 1,7     | -4,2   | -7,5    |
|                       | r | 84,0   | 82,4    | 78,1  | 72,2   | 69,9 | 69,4 | 74,3 | 78,1   | 79,8     | 83,2    | 85,6   | 84,6    |
| 22165, Канин Нос      | t | -8,2   | -9,2    | -6,8  | -4,0   | 0,1  | 5,3  | 9,1  | 8,8    | 6,5      | 2,6     | -1,8   | -5,0    |
|                       | r | 87,6   | 87,9    | 88,2  | 86,6   | 86,1 | 85,0 | 87,0 | 88,7   | 88,0     | 85,7    | 86,6   | 86,9    |
| 22292, Индига         | t | -14,2  | -13,7   | -10,0 | -5,1   | 0,7  | 7,1  | 10,9 | 10,0   | 6,8      | 1,4     | -5,9   | -10,4   |
|                       | r | 84,7   | 83,8    | 84,5  | 83,5   | 82,3 | 81,4 | 84,2 | 85,3   | 86,2     | 87,8    | 88,1   | 86,6    |
| 23074, Дудинки        | t | -27,1  | -26,7   | -20,5 | -14,6  | -4,5 | 6,4  | 13,7 | 11,1   | 4,1      | -7,7    | -20,5  | -25,4   |
|                       | r | 74,6   | 75,0    | 76,0  | 75,5   | 78,8 | 73,9 | 69,6 | 78,8   | 81,7     | 84,9    | 79,4   | 76,0    |
| 23205, Нарьян-Мар     | t | -17,5  | -16,8   | -10,6 | -5,6   | 1,3  | 9,3  | 13,3 | 10,5   | 6,0      | -0,6    | -9,2   | -13,6   |
|                       | r | 81,6   | 81,2    | 80,0  | 78,1   | 74,9 | 72,1 | 75,1 | 82,2   | 85,2     | 88,4    | 87,0   | 84,1    |
| 23256, Тазовское      | t | -26,3  | -25,2   | -18,1 | -12,4  | -3,1 | 7,9  | 14,6 | 11,2   | 4,4      | -5,6    | -18,1  | -23,4   |
|                       | r | 78,4   | 78,5    | 80,3  | 81,2   | 82,9 | 76,1 | 73,1 | 81,0   | 85,7     | 88,7    | 82,1   | 80,1    |
| 23330, Салехард       | t | -23,8  | -22,8   | -14,3 | -8,1   | 0,3  | 10,2 | 14,8 | 11,3   | 5,3      | -2,9    | -14,9  | -20,5   |
|                       | r | 82,4   | 82,3    | 81,7  | 77,9   | 75,7 | 69,0 | 71,5 | 78,1   | 81,9     | 85,7    | 84,9   | 83,5    |
| 24105, Ессей          | t | -35,8  | -31,8   | -22,6 | -14,4  | -2,3 | 6,0  | 13,3 | 10,6   | 2,8      | -11,3   | -28,5  | -31,4   |
|                       | r | 78,1   | 79,0    | 77,4  | 72,4   | 72,4 | 71,3 | 73,3 | 78,3   | 81,0     | 82,0    | 81,6   | 78,9    |
| 24343, Житанск        | t | -37,4  | -33,4   | -22,0 | -9,6   | 2,2  | 12,5 | 16,3 | 12,1   | 3,8      | -10,3   | -28,5  | -36,3   |
|                       | r | 75,6   | 77,0    | 72,8  | 63,4   | 60,3 | 61,1 | 66,6 | 75,2   | 77,0     | 85,6    | 80,6   | 76,5    |
| 25138, Островное      | t | -34,5  | -32,7   | -22,9 | -12,1  | 2,4  | 12,3 | 14,5 | 10,0   | 2,8      | -10,2   | -23,5  | -32,8   |
|                       | r | 76,1   | 76,1    | 71,5  | 68,4   | 62,8 | 59,9 | 66,9 | 73,6   | 77,6     | 82,1    | 80,1   | 77,7    |
| 25206, Средне-Колымск | t |        |         |       |        |      |      |      |        |          |         |        |         |
|                       | r | -36,1  | -34,0   | -25,1 | -12,9  | 1,7  | 11,9 | 15,1 | 10,6   | 3,5      | -10,0   | -24,9  | -33,4   |
| 25248, Илirianей      | t | 77,3   | 77,7    | 75,0  | 70,8   | 65,3 | 61,9 | 67,0 | 75,6   | 78,9     | 83,8    | 82,8   | 79,2    |
|                       | r | -35,6  | -32,8   | -25,6 | -16,2  | -1,2 | 10,8 | 13,6 | 9,3    | 1,4      | -12,5   | -25,4  | -34,7   |
| 25372, Амтуэма        | t | 73,8   | 72,8    | 70,0  | 69,0   | 68,3 | 60,9 | 65,6 | 72,0   | 77,3     | 81,6    | 78,8   | 75,2    |
|                       | r | -28,8  | -27,4   | -26,7 | -16,5  | -4,2 | 7,5  | 10,8 | 7,7    | 0,1      | -9,2    | -18,3  | -26,7   |
|                       | r | 77,9   | 78,3    | 76,7  | 80,7   | 83,0 | 70,3 | 73,4 | 80,4   | 81,6     | 83,4    | 83,3   | 79,3    |

Таблица 3.3 – Средние многолетние метеовеличины за соответствующие месяцы периода залегания снежного покрова.

| Станция               | Январь |                      |      |         | Февраль |                      |      |         | Март  |                      |      |         |
|-----------------------|--------|----------------------|------|---------|---------|----------------------|------|---------|-------|----------------------|------|---------|
|                       | t, °C  | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C   | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа |
| 22292, Индига         | -14,2  | 1,78                 | 84,7 | 0,27    | -13,7   | 1,86                 | 83,8 | 0,30    | -10   | 2,60                 | 84,5 | 0,40    |
| 22165, Канин Нос      | -8,2   | 3,05                 | 87,6 | 0,38    | -9,2    | 2,79                 | 87,9 | 0,34    | -6,8  | 3,44                 | 88,2 | 0,41    |
| 23205, Нарьян-Мар     | -17,5  | 1,31                 | 81,6 | 0,24    | -16,8   | 1,40                 | 81,2 | 0,26    | -10,6 | 2,47                 | 80   | 0,49    |
| 23330, Салехард       | -23,8  | 0,72                 | 82,4 | 0,13    | -22,8   | 0,79                 | 82,3 | 0,14    | -14,3 | 1,77                 | 81,7 | 0,32    |
| 23256, Тазовское      | -26,3  | 0,56                 | 78,4 | 0,12    | -25,2   | 0,62                 | 78,5 | 0,13    | -18,1 | 1,24                 | 80,3 | 0,24    |
| 20674, о. Диксон      | -25,3  | 0,62                 | 83   | 0,10    | -25,1   | 0,63                 | 83,1 | 0,11    | -21,9 | 0,86                 | 84,3 | 0,14    |
| 23074, Дудинки        | -27,1  | 0,51                 | 74,6 | 0,13    | -26,7   | 0,54                 | 75   | 0,13    | -20,5 | 0,99                 | 76   | 0,24    |
| 20891, Хатанга        | -32,2  | 0,30                 | 77,4 | 0,07    | -31,8   | 0,32                 | 78,7 | 0,07    | -25,7 | 0,59                 | 78,9 | 0,12    |
| 24105, Ессей          | -35,8  | 0,21                 | 78,1 | 0,05    | -31,8   | 0,32                 | 79   | 0,07    | -22,6 | 0,80                 | 77,4 | 0,18    |
| 21802, Саскылах       | -34,5  | 0,24                 | 73,7 | 0,06    | -34,4   | 0,24                 | 74,6 | 0,06    | -27,4 | 0,50                 | 74,7 | 0,13    |
| 24343, Житанск        | -37,4  | 0,17                 | 75,6 | 0,04    | -33,4   | 0,27                 | 77   | 0,06    | -22   | 0,85                 | 72,8 | 0,23    |
| 21921, Кюсюр          | -37    | 0,18                 | 74,9 | 0,05    | -34,6   | 0,23                 | 75,7 | 0,06    | -25,5 | 0,60                 | 74,5 | 0,15    |
| 21432, о. Котельный   | -29,3  | 0,41                 | 81,4 | 0,08    | -29,7   | 0,39                 | 81,3 | 0,07    | -27   | 0,52                 | 82,3 | 0,09    |
| 21946, Чокурдах       | -33,7  | 0,26                 | 78,3 | 0,06    | -33     | 0,28                 | 78,8 | 0,06    | -27,1 | 0,51                 | 79,2 | 0,11    |
| 25206, Средне-Колымск | -36,1  | 0,20                 | 77,3 | 0,05    | -34     | 0,25                 | 77,7 | 0,06    | -25,1 | 0,63                 | 75   | 0,16    |
| 25138, Островное      | -34,5  | 0,24                 | 76,1 | 0,06    | -32,7   | 0,29                 | 76,1 | 0,07    | -22,9 | 0,78                 | 71,5 | 0,22    |
| 25248, Илirianей      | -35,6  | 0,21                 | 73,8 | 0,06    | -32,8   | 0,28                 | 72,8 | 0,08    | -25,6 | 0,60                 | 70   | 0,18    |
| 25372, Амтуэма        | -28,8  | 0,43                 | 77,9 | 0,10    | -27,4   | 0,50                 | 78,3 | 0,11    | -26,7 | 0,54                 | 76,7 | 0,12    |

Продолжение таблицы 3.3.

| Станция               | Апрель |                      |      |         | Май   |                      |      |         | Июнь  |                      |      |         |
|-----------------------|--------|----------------------|------|---------|-------|----------------------|------|---------|-------|----------------------|------|---------|
|                       | t, °C  | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа |
| 22292, Индига         | -5,1   | 3,98                 | 83,5 | 0,66    | 0,7   | 6,47                 | 82,3 | 1,15    | 7,1   | 10,80                | 81,4 | 2,01    |
| 22165, Канин Нос      | -4     | 4,38                 | 86,6 | 0,59    | 0,1   | 6,16                 | 86,1 | 0,86    | 5,3   | 9,37                 | 85   | 1,41    |
| 23205, Нарьян-Мар     | -5,6   | 3,82                 | 78,1 | 0,84    | 1,3   | 6,80                 | 74,9 | 1,71    | 9,3   | 12,81                | 72,1 | 3,57    |
| 23330, Салехард       | -8,1   | 3,07                 | 77,9 | 0,68    | 0,3   | 6,26                 | 75,7 | 1,52    | 10,2  | 13,72                | 69   | 4,25    |
| 23256, Тазовское      | -12,4  | 2,10                 | 81,2 | 0,39    | -3,1  | 4,72                 | 82,9 | 0,81    | 7,9   | 11,49                | 76,1 | 2,75    |
| 20674, о. Диксон      | -16,6  | 1,43                 | 84   | 0,23    | -7    | 3,38                 | 87,4 | 0,43    | 0,6   | 6,42                 | 89,9 | 0,65    |
| 23074, Дудинки        | -14,6  | 1,72                 | 75,5 | 0,42    | -4,5  | 4,19                 | 78,8 | 0,89    | 6,4   | 10,22                | 73,9 | 2,67    |
| 20891, Хатанга        | -16,5  | 1,44                 | 78,5 | 0,31    | -5,4  | 3,88                 | 79,5 | 0,80    | 6,1   | 9,98                 | 72,6 | 2,74    |
| 24105, Ессей          | -14,4  | 1,75                 | 72,4 | 0,48    | -2,3  | 5,05                 | 72,4 | 1,39    | 6     | 9,90                 | 71,3 | 2,84    |
| 21802, Саскылах       | -18    | 1,25                 | 75,1 | 0,31    | -6    | 3,69                 | 79,8 | 0,75    | 6     | 9,90                 | 72,8 | 2,69    |
| 24343, Житанск        | -9,6   | 2,69                 | 63,4 | 0,99    | 2,2   | 7,31                 | 60,3 | 2,90    | 12,5  | 16,34                | 61,1 | 6,35    |
| 21921, Кюсюр          | -14,1  | 1,80                 | 70,5 | 0,53    | -2    | 5,18                 | 71   | 1,50    | 8,6   | 12,13                | 66,9 | 4,02    |
| 21432, о. Котельный   | -19,4  | 1,10                 | 83,7 | 0,18    | -8,1  | 3,07                 | 86,5 | 0,42    | -0,1  | 6,06                 | 89,6 | 0,63    |
| 21946, Чокурдах       | -17,6  | 1,30                 | 80   | 0,26    | -5    | 4,02                 | 80,8 | 0,77    | 6,3   | 10,14                | 74,1 | 2,63    |
| 25206, Средне-Колымск | -12,9  | 2,01                 | 70,8 | 0,59    | 1,7   | 7,02                 | 65,3 | 2,44    | 11,9  | 15,61                | 61,9 | 5,95    |
| 25138, Островное      | -12,1  | 2,16                 | 68,4 | 0,68    | 2,4   | 7,43                 | 62,8 | 2,76    | 12,3  | 16,09                | 59,9 | 6,45    |
| 25248, Илирней        | -16,2  | 1,48                 | 69   | 0,46    | -1,2  | 5,53                 | 68,3 | 1,75    | 10,8  | 14,36                | 60,9 | 5,62    |
| 25372, Амтуэма        | -16,5  | 1,44                 | 80,7 | 0,28    | -4,2  | 4,30                 | 83   | 0,73    | 7,5   | 11,14                | 70,3 | 3,31    |

Продолжение таблицы 3.3.

| Станция               | Июль  |                      |      |         | Август |                      |      |         | Сентябрь |                      |      |         |
|-----------------------|-------|----------------------|------|---------|--------|----------------------|------|---------|----------|----------------------|------|---------|
|                       | t, °C | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C  | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C    | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа |
| 22292, Индига         | 10,9  | 14,47                | 84,2 | 2,29    | 10     | 13,51                | 85,3 | 1,99    | 6,8      | 10,55                | 86,2 | 1,46    |
| 22165, Канин Нос      | 9,1   | 12,61                | 87   | 1,64    | 8,8    | 12,32                | 88,7 | 1,39    | 6,5      | 10,30                | 88   | 1,24    |
| 23205, Нарьян-Мар     | 13,3  | 17,35                | 75,1 | 4,32    | 10,5   | 14,04                | 82,2 | 2,50    | 6        | 9,90                 | 85,2 | 1,47    |
| 23330, Салехард       | 14,8  | 19,39                | 71,5 | 5,53    | 11,3   | 14,92                | 78,1 | 3,27    | 5,3      | 9,37                 | 81,9 | 1,70    |
| 23256, Газовское      | 14,6  | 19,11                | 73,1 | 5,14    | 11,2   | 14,81                | 81   | 2,81    | 4,4      | 8,73                 | 85,7 | 1,25    |
| 20674, о. Диксон      | 5,3   | 9,37                 | 89   | 1,03    | 5,2    | 9,30                 | 89,5 | 0,98    | 1,8      | 7,08                 | 88,3 | 0,83    |
| 23074, Дудинки        | 13,7  | 17,87                | 69,6 | 5,43    | 11,1   | 14,70                | 78,8 | 3,12    | 4,1      | 8,52                 | 81,7 | 1,56    |
| 20891, Хатанга        | 12,7  | 16,58                | 70,5 | 4,89    | 9,2    | 12,71                | 79   | 2,67    | 1,8      | 7,08                 | 83,1 | 1,20    |
| 24105, Ессей          | 13,3  | 17,35                | 73,3 | 4,63    | 10,6   | 14,15                | 78,3 | 3,07    | 2,8      | 7,67                 | 81   | 1,46    |
| 21802, Саскылах       | 11,6  | 15,26                | 71,7 | 4,32    | 8,5    | 12,04                | 78,5 | 2,59    | 1,1      | 6,69                 | 83,3 | 1,12    |
| 24343, Житанск        | 16,3  | 21,66                | 66,6 | 7,23    | 12,1   | 15,85                | 75,2 | 3,93    | 3,8      | 8,32                 | 77   | 1,91    |
| 21921, Кюсюр          | 13,1  | 17,09                | 69,7 | 5,18    | 9,9    | 13,41                | 76,6 | 3,14    | 2,5      | 7,49                 | 78   | 1,65    |
| 21432, о. Котельный   | 3,2   | 7,93                 | 90   | 0,79    | 2,5    | 7,49                 | 91,5 | 0,64    | -0,9     | 5,67                 | 89,8 | 0,58    |
| 21946, Чокурдах       | 10,8  | 14,36                | 75   | 3,59    | 7,8    | 11,40                | 81,6 | 2,10    | 1,3      | 6,80                 | 87   | 0,88    |
| 25206, Средне-Колымск | 15,1  | 19,83                | 67   | 6,54    | 10,6   | 14,15                | 75,6 | 3,45    | 3,5      | 8,12                 | 78,9 | 1,71    |
| 25138, Островное      | 14,5  | 18,97                | 66,9 | 6,28    | 10     | 13,51                | 73,6 | 3,57    | 2,8      | 7,67                 | 77,6 | 1,72    |
| 25248, Илирней        | 13,6  | 17,74                | 65,6 | 6,10    | 9,3    | 12,81                | 72   | 3,59    | 1,4      | 6,85                 | 77,3 | 1,56    |
| 25372, Амтуэма        | 10,8  | 14,36                | 73,4 | 3,82    | 7,7    | 11,31                | 80,4 | 2,22    | 0,1      | 6,16                 | 81,6 | 1,13    |

Продолжение таблица 3.3.

| Станция               | Октябрь |                      |      |         | Ноябрь |                      |      |         | Декабрь |                      |      |         |
|-----------------------|---------|----------------------|------|---------|--------|----------------------|------|---------|---------|----------------------|------|---------|
|                       | t, °C   | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C  | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа | t, °C   | e <sub>0</sub> , гПа | r, % | d', гПа |
| 22292, Индига         | 1,4     | 6,85                 | 87,8 | 0,84    | -5,9   | 3,72                 | 88,1 | 0,44    | -10,4   | 2,51                 | 86,6 | 0,34    |
| 22165, Канин Нос      | 2,6     | 7,55                 | 85,7 | 1,08    | -1,8   | 5,26                 | 86,6 | 0,71    | -5      | 4,02                 | 86,9 | 0,53    |
| 23205, Нарьян-Мар     | -0,6    | 5,82                 | 88,4 | 0,67    | -9,2   | 2,79                 | 87   | 0,36    | -13,6   | 1,88                 | 84,1 | 0,30    |
| 23330, Салехард       | -2,9    | 4,80                 | 85,7 | 0,69    | -14,9  | 1,67                 | 84,9 | 0,25    | -20,5   | 0,99                 | 83,5 | 0,16    |
| 23256, Тазовское      | -5,6    | 3,82                 | 88,7 | 0,43    | -18,1  | 1,24                 | 82,1 | 0,22    | -23,4   | 0,74                 | 80,1 | 0,15    |
| 20674, о. Диксон      | -7,5    | 3,24                 | 87,4 | 0,41    | -17,3  | 1,34                 | 85,7 | 0,19    | -22,5   | 0,81                 | 83,2 | 0,14    |
| 23074, Дудинки        | -7,7    | 3,18                 | 84,9 | 0,48    | -20,5  | 0,99                 | 79,4 | 0,20    | -25,4   | 0,61                 | 76   | 0,15    |
| 20891, Хатанга        | -11,6   | 2,26                 | 84,7 | 0,35    | -24,4  | 0,67                 | 81,3 | 0,13    | -29,2   | 0,41                 | 78,1 | 0,09    |
| 24105, Ессей          | -11,3   | 2,32                 | 82   | 0,42    | -28,5  | 0,45                 | 81,6 | 0,08    | -31,4   | 0,33                 | 78,9 | 0,07    |
| 21802, Саскылах       | -12,6   | 2,06                 | 83,3 | 0,34    | -27,3  | 0,50                 | 77,7 | 0,11    | -32,1   | 0,31                 | 74,8 | 0,08    |
| 24343, Житанск        | -10,3   | 2,53                 | 85,6 | 0,36    | -28,5  | 0,45                 | 80,6 | 0,09    | -36,3   | 0,20                 | 76,5 | 0,05    |
| 21921, Кюсюр          | -11,1   | 2,36                 | 81,3 | 0,44    | -29,1  | 0,42                 | 77,9 | 0,09    | -34,9   | 0,23                 | 75,4 | 0,06    |
| 21432, о. Котельный   | -10     | 2,60                 | 87,5 | 0,33    | -21    | 0,94                 | 84,1 | 0,15    | -26,8   | 0,53                 | 81,7 | 0,10    |
| 21946, Чокурдах       | -11     | 2,38                 | 88,5 | 0,27    | -24,4  | 0,67                 | 83,6 | 0,11    | -31,5   | 0,33                 | 79,6 | 0,07    |
| 25206, Средне-Колымск | -10     | 2,60                 | 83,8 | 0,42    | -24,9  | 0,64                 | 82,8 | 0,11    | -33,4   | 0,27                 | 79,2 | 0,06    |
| 25138, Островное      | -10,2   | 2,56                 | 82,1 | 0,46    | -23,5  | 0,74                 | 80,1 | 0,15    | -32,8   | 0,28                 | 77,7 | 0,06    |
| 25248, Илирней        | -12,5   | 2,08                 | 81,6 | 0,38    | -25,4  | 0,61                 | 78,8 | 0,13    | -34,7   | 0,23                 | 75,2 | 0,06    |
| 25372, Амтуэма        | -9,2    | 2,79                 | 83,4 | 0,46    | -18,3  | 1,22                 | 83,3 | 0,20    | -26,7   | 0,54                 | 79,3 | 0,11    |

Таблица 3.4. – Условный (d') и истинный дефицит (d) для 2 периода.

| Станция               | Январь  |        | Февраль |        | Март    |        | Апрель  |        | Май     |        | Июнь    |        |
|-----------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                       | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа |
| 22292, Индига         | 0,3     | 0,4    | 0,3     | 0,4    | 0,4     | 0,5    | 0,7     | 0,8    | 1,1     | 1,4    | 2,0     | 2,4    |
| 22165, Канин Нос      | 0,4     | 0,5    | 0,3     | 0,4    | 0,4     | 0,5    | 0,6     | 0,7    | 0,9     | 1,0    | 1,4     | 1,7    |
| 23205, Нарьян-Мар     | 0,2     | 0,3    | 0,3     | 0,4    | 0,5     | 0,6    | 0,8     | 1,0    | 1,7     | 2,1    | 3,6     | 4,3    |
| 23330, Салехард       | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,3     | 0,4    | 0,7     | 0,8    | 1,5     | 1,8    | 4,3     | 5,1    |
| 23256, Тазовское      | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,2     | 0,3    | 0,4     | 0,5    | 0,8     | 1,0    | 2,7     | 3,3    |
| 20674, о. Диксон      | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,2     | 0,3    | 0,4     | 0,5    | 0,6     | 0,8    |
| 23074, Дудинки        | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,2     | 0,3    | 0,4     | 0,5    | 0,9     | 1,1    | 2,7     | 3,2    |
| 20891, Хатанга        | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,2    | 0,3     | 0,4    | 0,8     | 1,0    | 2,7     | 3,3    |
| 24105, Ессей          | 0,0     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,3    | 0,5     | 0,6    | 1,4     | 1,7    | 2,8     | 3,4    |
| 21802, Саскылах       | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,2    | 0,3     | 0,4    | 0,7     | 0,9    | 2,7     | 3,2    |
| 24343, Житанск        | 0,0     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,3    | 1,0     | 1,2    | 2,9     | 3,5    | 6,4     | 7,5    |
| 21921, Кюсюр          | 0,0     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,2    | 0,5     | 0,7    | 1,5     | 1,8    | 4,0     | 4,8    |
| 21432, о. Котельный   | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,3    | 0,4     | 0,5    | 0,6     | 0,8    |
| 21946, Чокурдах       | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,2    | 0,3     | 0,3    | 0,8     | 0,9    | 2,6     | 3,1    |
| 25206, Средне-Колымск | 0,0     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,2    | 0,6     | 0,7    | 2,4     | 2,9    | 5,9     | 7,1    |
| 25138, Островное      | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,3    | 0,7     | 0,8    | 2,8     | 3,3    | 6,5     | 7,6    |
| 25248, Илирней        | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    | 0,2     | 0,3    | 0,5     | 0,6    | 1,8     | 2,1    | 5,6     | 6,7    |
| 25372, Амтуэма        | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    | 0,3     | 0,4    | 0,7     | 0,9    | 3,3     | 3,9    |



Продолжение таблицы 3.4.

| Станция               | Июль    |        | Август  |        | Сентябрь |        | Октябрь |        | Ноябрь  |        | Декабрь |        |
|-----------------------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                       | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа  | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа | d', гПа | d, гПа |
| 22292, Индига         | 2,3     | 2,7    | 2,0     | 2,4    | 1,5      | 1,8    | 0,8     | 1,0    | 0,4     | 0,6    | 0,3     | 0,4    |
| 22165, Канин Нос      | 1,6     | 2,0    | 1,4     | 1,7    | 1,2      | 1,5    | 1,1     | 1,3    | 0,7     | 0,9    | 0,5     | 0,7    |
| 23205, Нарьян-Мар     | 4,3     | 5,1    | 2,5     | 3,0    | 1,5      | 1,8    | 0,7     | 0,8    | 0,4     | 0,5    | 0,3     | 0,4    |
| 23330, Салехард       | 5,5     | 6,6    | 3,3     | 3,9    | 1,7      | 2,0    | 0,7     | 0,8    | 0,3     | 0,3    | 0,2     | 0,2    |
| 23256, Газовское      | 5,1     | 6,1    | 2,8     | 3,4    | 1,2      | 1,5    | 0,4     | 0,5    | 0,2     | 0,3    | 0,1     | 0,2    |
| 20674, о. Диксон      | 1,0     | 1,3    | 1,0     | 1,2    | 0,8      | 1,0    | 0,4     | 0,5    | 0,2     | 0,3    | 0,1     | 0,2    |
| 23074, Дудинки        | 5,4     | 6,4    | 3,1     | 3,7    | 1,6      | 1,9    | 0,5     | 0,6    | 0,2     | 0,3    | 0,1     | 0,2    |
| 20891, Хатанга        | 4,9     | 5,8    | 2,7     | 3,2    | 1,2      | 1,5    | 0,3     | 0,4    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,1    |
| 24105, Ессей          | 4,6     | 5,5    | 3,1     | 3,7    | 1,5      | 1,8    | 0,4     | 0,5    | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    |
| 21802, Саскылах       | 4,3     | 5,1    | 2,6     | 3,1    | 1,1      | 1,4    | 0,3     | 0,4    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,1    |
| 24343, Житанск        | 7,2     | 8,6    | 3,9     | 4,7    | 1,9      | 2,3    | 0,4     | 0,5    | 0,1     | 0,1    | 0,0     | 0,1    |
| 21921, Кюсюр          | 5,2     | 6,1    | 3,1     | 3,7    | 1,6      | 2,0    | 0,4     | 0,6    | 0,1     | 0,1    | 0,1     | 0,1    |
| 21432, о. Котельный   | 0,8     | 1,0    | 0,6     | 0,8    | 0,6      | 0,7    | 0,3     | 0,4    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,2    |
| 21946, Чокурдах       | 3,6     | 4,3    | 2,1     | 2,5    | 0,9      | 1,1    | 0,3     | 0,4    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,1    |
| 25206, Средне-Колымск | 6,5     | 7,8    | 3,5     | 4,1    | 1,7      | 2,1    | 0,4     | 0,5    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,1    |
| 25138, Островное      | 6,3     | 7,4    | 3,6     | 4,2    | 1,7      | 2,1    | 0,5     | 0,6    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,1    |
| 25248, Илирней        | 6,1     | 7,2    | 3,6     | 4,3    | 1,6      | 1,9    | 0,4     | 0,5    | 0,1     | 0,2    | 0,1     | 0,1    |
| 25372, Амтуэма        | 3,8     | 4,5    | 2,2     | 2,7    | 1,1      | 1,4    | 0,5     | 0,6    | 0,2     | 0,3    | 0,1     | 0,2    |

Таблица 3.5. – Даты перехода температуры через 0 °С.

| Станция               | Дата установления снежного покрова |               | Дата схода снежного покрова |               | Дата устойчивого перехода температуры через 0°С |               |               |               |
|-----------------------|------------------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|---|---------------|---------------|---------------|
|                       | Первый период                      | Второй период | Первый период               | Второй период | Весна   |               | Осень         |               |
|                       |                                    |               |                             |               | Первый период                                   | Второй период | Первый период | Второй период |
| 22292, Индига         | 03.11                              | 06.11         | 30.05                       | 13.05         | 19.05   | 11.05         | 15.10         | 21.10         |
| 22165, Канин Нос      | 13.11                              | 20.11         | 30.05                       | 16.05         | 20.04   | 14.05         | 26.10         | 02.11         |
| 23205, Нарьян-Мар     | 27.10                              | 27.10         | 24.05                       | 11.05         | 16.05   | 09.05         | 09.10         | 12.10         |
| 23330, Салехард       | 15.10                              | 17.10         | 28.05                       | 16.05         | 20.05   | 14.05         | 30.09         | 04.10         |
| 23256, Тазовское      | 07.10                              | 10.10         | 02.06                       | 26.05         | 30.05   | 24.05         | 25.09         | 28.09         |
| 20674, о. Диксон      | 02.10                              | 02.10         | 15.06                       | 13.06         | 14.06   | 12.06         | 20.09         | 21.09         |
| 23074, Дудинки        | 07.10                              | 07.10         | 05.06                       | 28.05         | 01.06   | 27.05         | 24.09         | 25.09         |
| 20891, Хатанга        | 29.09                              | 30.09         | 09.06                       | 30.05         | 13.06   | 29.05         | 18.09         | 19.09         |
| 24105, Ессей          | 04.10                              | 02.10         | 30.05                       | 25.05         | 25.05   | 23.05         | 20.09         | 21.09         |
| 21802, Саскылах       | 26.09                              | 09.10         | 03.06                       | 31.05         | 31.05   | 30.05         | 18.09         | 27.09         |
| 24343, Житанск        | 03.10                              | 05.10         | 18.05                       | 11.05         | 13.05   | 09.05         | 23.09         | 23.09         |
| 21921, Кюсюр          | 28.09                              | 02.10         | 02.06                       | 22.05         | 25.05   | 21.05         | 19.09         | 21.09         |
| 21432, о. Котельный   | 16.09                              | 15.09         | 24.06                       | 17.06         | 14.06   | 16.06         | 01.09         | 06.09         |
| 21946, Чокурдах       | 25.09                              | 29.09         | 06.06                       | 29.05         | 30.05   | 28.05         | 17.09         | 18.09         |
| 25206, Средне-Колымск | 03.10                              | 06.10         | 21.05                       | 14.05         | 17.05   | 12.05         | 21.09         | 24.09         |
| 25138, Островное      | 28.09                              | 04.10         | 22.05                       | 12.05         | 15.05   | 10.05         | 19.09         | 22.09         |
| 25248, Илирней        | 29.10                              | 29.10         | 02.06                       | 20.05         | 27.05   | 18.05         | 16.09         | 18.09         |
| 25372, Амгуэма        | 04.10                              | 25.09         | 12.06                       | 23.05         | 29.05   | 26.05         | 16.09         | 15.09         |