

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Сокращения	4
Введение	5
1 Физико-географическая характеристика района и местности	
1.1 Географическое положение НИС	8
1.2 Общая характеристика района	9
1.3 Гидрографическое, геоморфологическое и геологическое описание водосбора реки Мушкетова	10
2 Измерения и расчеты используемых экспедиционных материалов и данных	
2.1 Ландшафтно-маршрутная снегомерная съемка	17
2.2 Гидрологические работы	21
3 Определение составляющих теплового баланса, расчет и анализ полученных результатов	
3.1 Тепловой баланс и его составляющие	26
3.2 Расчет водоотдачи из снежного покрова по методу А.Г.Ковзеля	30
3.3 Анализ полученных результатов	32
4	
Заключение	
Список используемой литературы	
Приложение 1 – Таблицы стандартных метеорологических измерений (ТМС) за период сентябрь 2013 – сентябрь 2014 гг. Суточные данные по месяцам.	

Приложение 2 – Таблица расчета интенсивности снеготаяния и водоотдачи из снежного покрова методом теплового баланса

## СОКРАЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

СЛО –Северный Ледовитый океан

ФГБУ «ААНИИ»– Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»

арх. – архипелаг

о. – остров

ЦМР – цифровая модель рельефа

АРМ – автоматизированное рабочее место

ГГИ – Государственный гидрологический институт

## ВВЕДЕНИЕ

«Исследования последних лет указывают на существенную роль внутригодовых циклов в формировании межгодовой (климатической) изменчивости Северного Ледовитого океана (СЛО), особенно макромасштабной изменчивости его ледового и гидрологического режимов. При этом летние и зимние процессы в арктических морях и в Арктическом бассейне в целом по-разному влияют на перенос и трансформацию веществ природного и антропогенного происхождения, поступающих с речным стоком и из атмосферы, на биологические, седиментационные и газообменные процессы в Арктическом регионе. Указанные обстоятельства выдвигают в качестве приоритетного направления исследование сезонных циклов различных характеристик СЛО, как ключевых процессов, формирующих климатическую изменчивость метеорологического, ледового, гидрологического, гидрохимического, гляциологического, биологического, седиментационного режимов и экологического состояния СЛО и прилегающих районов Арктики в целом».[1]

Для проведения комплексных гидрометеорологических высокоширотных исследований Арктики в рамках задач, которые определяются Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 г. и являются практической реализацией решения Правительства Российской Федерации от 25.04.2008 г об обеспечении интересов России в высокоширотных и полярных регионах, осенью 2013 года на о. Большевик архипелага Северная Земля был воссоздан Научно-исследовательский стационар (НИС) ФГБУ «АНИИ» «Ледовая база «Мыс Баранова» (основана как станция в 1986 году и законсервирована в 1991 году в связи с отсутствием финансирования).

Актуальность исследований обусловлена большой чувствительностью природной среды Арктики к вариациям климата, что создает необходимость разработок моделей для предсказаний его изменений с учетом процессов, происходящих в средних широтах.

Физические процессы и механизмы взаимодействия в системе атмосфера-суша-ледяной покров-океан в условиях высокоширотной Арктики, природная среда которой ранима, характеризуются динамичной реакцией на самые малые изменения в одной из составляющих, что в свою очередь влияет на состояние и изменчивость других, а так же системы в целом. Исследования этих процессов предоставляют возможность выявить через ряд региональных особенностей проявления глобальных изменений и колебаний климата.

Водные объекты суши, включая скопления воды в твердой фазе (снежный покров, ледники)[2], являются частью гидросферы и выполняют свою важную функцию в климатической системе. Вода является переносчиком массы и энергии, гидрологический режим водных объектов имеет важнейшее значение для формирования такого стратегического ресурса как пресная вода и участвует в оценке устойчивости природных экосистем в целом.

Физические свойства гидросферы характеризуются пространственной (вертикальной, горизонтальной) и временной неоднородностью – с точки зрения изменений ряда параметров гидросферы в сравнении с атмосферой является значительно менее подвижной средой. К компонентам гидросферы в пределах суши относятся водные геосистемы, которые включают в себя водный объект и его водосбор.

Выявление гидрологических особенностей пресноводных систем архипелага Северная Земля, исследования их водного и ледового режимов, позволяют провести оценку состояния и внутрисезонной изменчивости природной среды в части элементов водного баланса водных объектов суши.

Основная цель настоящего проекта заключается в рассмотрении вопроса применимости метода теплового баланса для расчетов интенсивности снеготаяния и водоотдачи из снега для гидрологически не изученной территории островной Арктики на примере выбранного водного объекта – река Мушкетова (о. Большевик, арх. Северная Земля,).

Для достижения указанной цели были поставлены задачи:

- на основе полевых (экспедиционных) материалов дать характеристику выбранного гидрологического объекта;
- провести оценку измерений и расчетов используемых материалов и данных;
- определить составляющие теплового баланса, провести расчет и его анализ;
- выделить характеристики и особенности формирования снеготаяния и водоотдачу из снежного покрова, в том числе факторы, влияющие на данный процесс;
- полученные данные рассмотреть с учетом параметров измеренного поверхностного стока и других гидрометеорологических данных с точки зрения метода водного баланса для установления степени влияния его составляющих на общий ход формирования водного режима изучаемого водного объекта, дать характеристики.

В качестве гидролого-криосферного полигона выбран бассейн перигляциальной области ледника Мушкетова (прилегающая территория НИС «Ледовая база «Мыс Баранова») с вытекающими из него водотоками. Объектом гидрологических мониторинговых исследований в сезоны 2014 – 2016 гг. на участке полигона северной и северо-восточной экспозиций (6 водных объектов) в рамках экспедиционных работ были организованы и проведены комплексные наблюдения за гидрометеорологическими параметрами за период гидрологического цикла. Карта участка представлена на рисунке 1.2.

Рассматриваемый в данной работе объект - река Мушкетова расположена в северной части полигона, берет начало из многолетних снежников и впадает в бухту Амба.



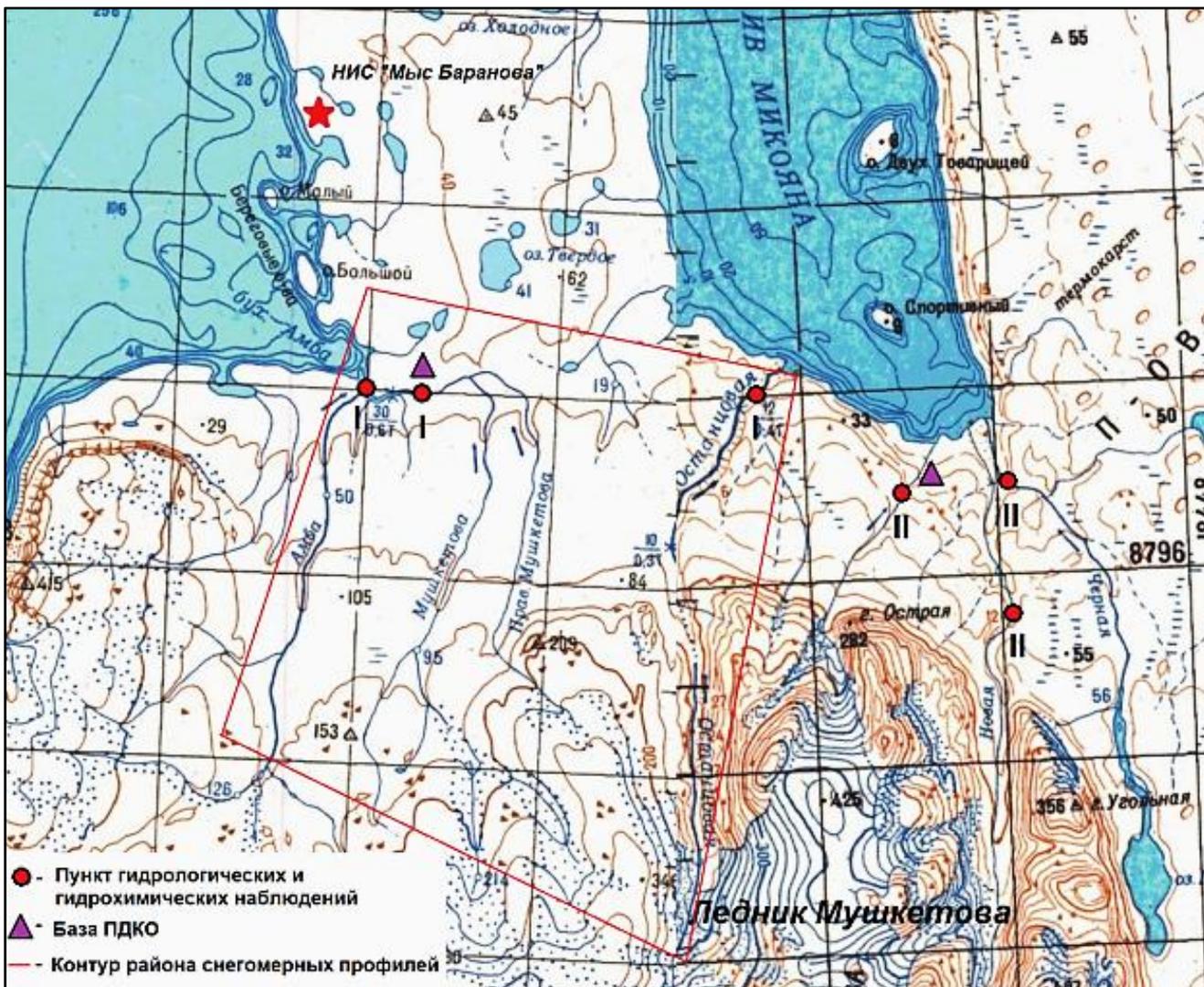


Рисунок 1.2 – Карта (1:200000) участка гидролого-криосферного полигона, являвшегося объектом гидрологических исследований при проведении полевых работ в сезоны 2014-2016 гг.

## 1.2 Общая гидрологическая характеристика района

Береговая линия, прилегающая к НИС и простирающаяся на юг к бухте Амба, куда впадают некоторые исследуемые реки, имеет крутые берега - обрывистые склоны коренного берега, опускающиеся к морю, иногда встречаются намывные участки у небольших заливчиков. Крутые берега в основании бухты Амба прорезываются глубокими ущельями, в которых текут в теплый период иногда бурная речка Амба и река Мушкетова. К концу короткого арктического лета все реки, расположенные на исследуемом полигоне значительно мелеют и промерзают до дна.

На разных участках врезанных русел рек встречаются глубокие ущелья, которые забиваются в зимний период снегом, и за короткое лето полностью растаять не успевают, снег фирнизируется и превращается в лед. Из года в год, накапливаясь, фирн и лед образуют в некоторых местах ущелий сплошные своды и гроты (река Амба).

### 1.3 Гидрографическое, геоморфологическое и геологическое описание рассматриваемого гидрологического объекта – реки Мушкетова и ее водосбора.

С целью получения максимально точных гидрографических характеристик реки и ее водосбора ввиду небольших их количественных значений и характера местности – предгорный и холмистый сильно расчлененный рельеф района [3], была проведена итерационная работа по созданию цифровой модели рельефа (ЦМР). Используемые материалы – топографические карты (полученные из фондов), космические снимки, геоморфологические карты, литологические разрезы, были обработаны и введены (оцифрованы) в геоинформационную систему ArcGIS version 10.0 с созданием Автоматизированного Рабочего Места (АРМ).

В рамках данной геоинформационной системы были созданы слои: реки, береговые линии, озера, ледники, а так же цифровая модель рельефа (grid, tin), которые снабжены дополнительной атрибутивной информацией. Это позволило определить границы водоразделов, крутизну склонов, что в свою очередь позволило рассчитать площадь водосборов исследуемых рек. Основная задача исследований – это детальное описание гидрографических и морфометрических характеристик рек и их водосборов. Созданный АРМ на основе геоинформационной системы позволяет уточнить места проведения полевых топографических, геоморфологических съемок, и тем самым повысить качество и эффективность решаемой задачи.

После привязки существующей оцифрованной топографической основы и построения изолиний построена ЦМР (на основе матрицы 1x1 м) с учетом точечных данных отметок высот и горизонталей. Так же следует отметить, что геоинформационная система дает возможность вводить дополнительные ограничения для качественного построения ЦМР (озера, реки, границы).

Из ЦМР была получена следующая информация:

- Графики по заранее созданной полилинии. График представляет собой высотные отметки через 1 м. На основании данного графика были построены продольные профили русла реки Мушкетова и ее притоков, получены высотные профили снегосъемок, рассчитаны уклоны реки, притоков, водосбора.

- Водораздельные линии, построенные автоматически и полилинии, введенные вручную позволили рассчитать площади водосборов, снежников.

Возможности ЦМР:

- На основе построенной ЦМР и с учетом метеорологических данных (влияние основных ветров на перенос снега для уточнения площадей залегания снежного покрова возле водоразделов) можно построить пересечения поверхности максимальных значений границ водоразделов и тем самым посчитать дополнительную площадь для оценки снегонакопления.

- Так же можно производить интерпретацию, которая позволит создать растровую сеть водотоков. Для создания растровой сети водотоков могут быть использованы результаты инструмента Направление стока к которым применяется пороговое значение, позволяющее выбрать ячейки с высоким суммарным стоком.

- После проведения очередного полевого сезона и получения детальных данных, появится возможность по выбранным категориям использовать математические методы, встроенные в геоинформационную систему (ArcGisverison 10.0). Одним из главных достоинств созданного АРМа является использование дополнительной информации при построении ЦМР. Состоит также отметить качественное представление данных (рисунок 1.3)



Основные гидрографические характеристики представлены в таблицах 1.1 - 1.2 и рисунке 1.4

Таблица 1.1 – Гидрографические характеристики объекта исследований

<b>Расстояния, км</b>	От истока	От устья
Исток -Приток_1	3,21	14,95
Приток_1 - Приток_2	1,45	11,74
Приток_2 - Приток_3	1,26	10,29
Приток_3 - р. Правая Мушкетова	6,53	9,03
р. Правая Мушкетова - ГПН	0,93	2,5
ГПН - устье	1,57	1,57

<b>Протяженность</b>	км
р. Мушкетова	14,95
Приток_1	3,21
Приток_2	1,56
Приток_3	4,7
р. Правая Мушкетова	9,66

<b>Площади</b>	км <sup>2</sup>
со снежниками	
Водосбор р.Мушкетова	29,91
Водосбор р. Правая Мушкетова	14,98
Водосбор общ.	51,2
без снежников	
Водосбор р.Мушкетова	24,22
Водосбор р. Правая Мушкетова	14,36
Водосбор общ.	44,89
Снежник р.Мушкетова	5,69
Снежник р. Правая Мушкетова	0,62
Снежник общ.	6,31

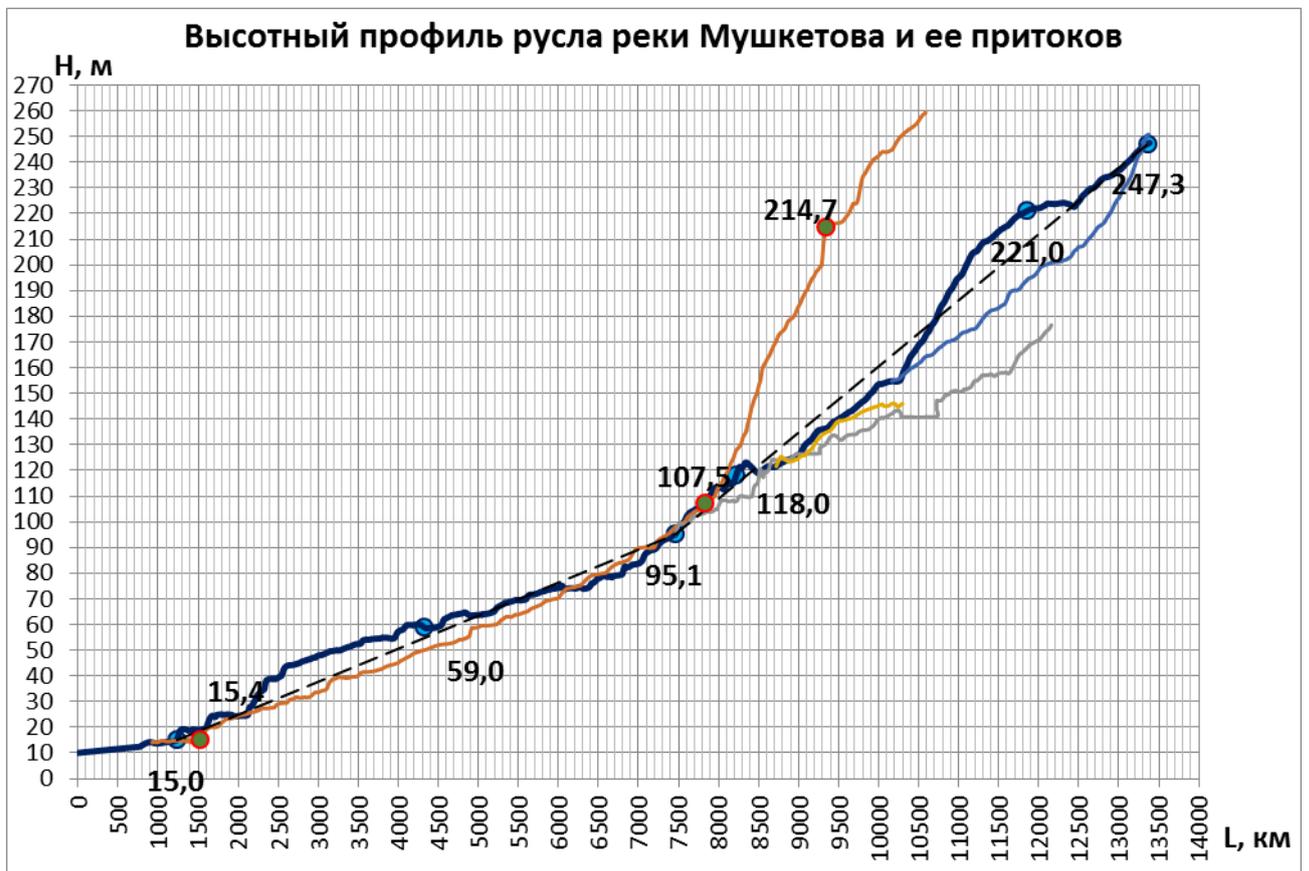


Рисунок 1.4 – Высотный профиль русла на основе данных ЦМР

Таблица 1.2 – Уклоны русла

**р. Мушкетова**

расст.от ГПН, км	H, м	комментарий	расст. между, км	Уклон, промилле	градусы
1235	15,0				
4321	59,0	урез	3,086	14,3	0,82
7460	95,1	1 приток	3,139	11,5	0,66
8220	118,0	урез	0,760	30,1	1,73
11858	221,0	урез	3,638	28,3	1,62
13370	247,3	урез	1,512	17,4	1,00

**р. Правая Мушкетова**

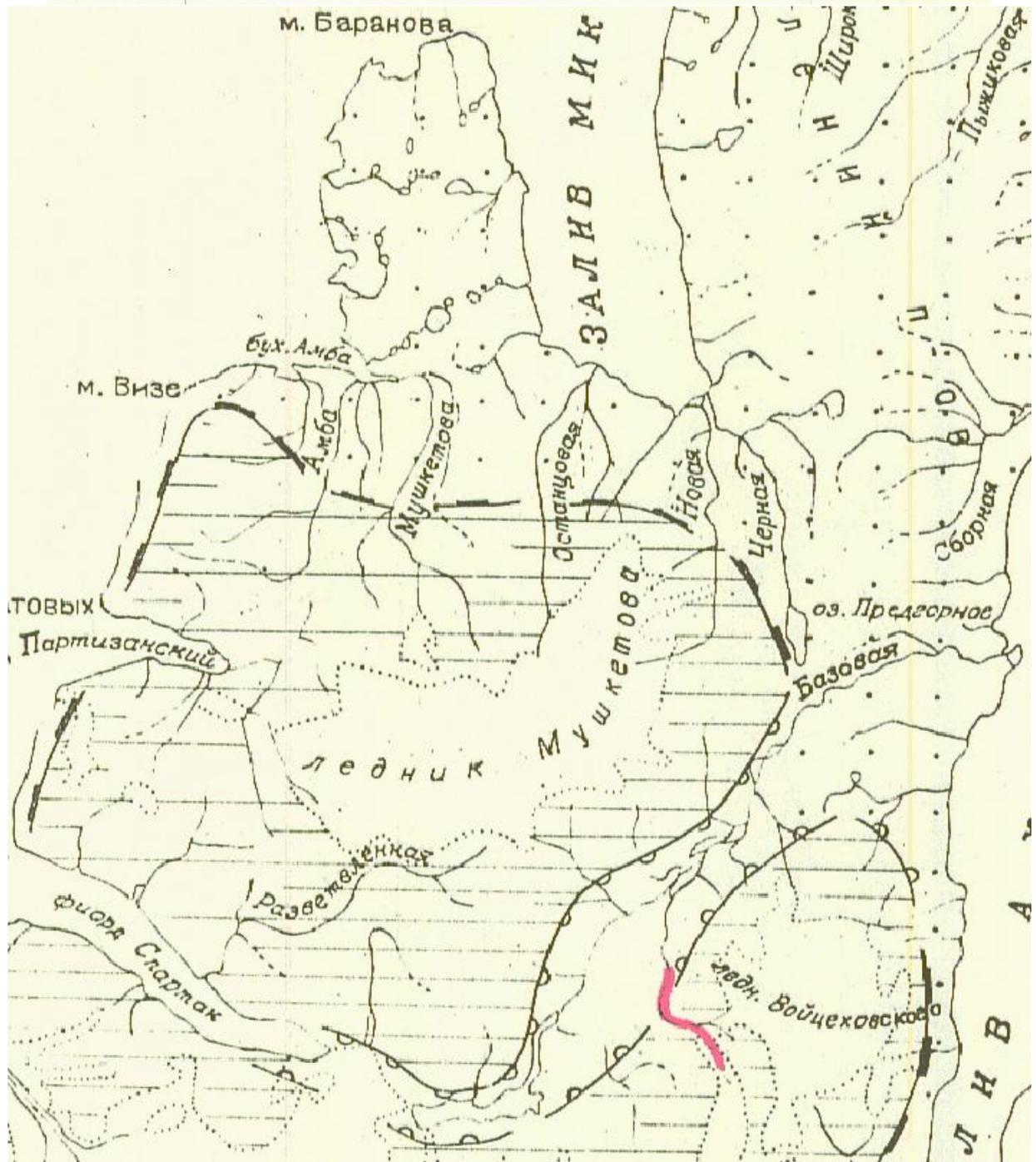
расст.от ГПН, км	H, м	комментарий	расст. между, км	Уклон, промилле	градусы
1522	15,4	урез			
7822	107,5	урез	6,300	14,6	0,84
9342	214,7	урез	1,520	70,5	4,03

Геоморфологическая характеристика водосборного бассейна представлена на обзорной геоморфологической карте на рисунке 1.5. Здесь стоит отметить, что на территории бассейна выделены два яруса рельефа, различных по происхождению и по своим морфометрическим характеристикам, что имеет значение в распределении снежного покрова и формировании водоотдачи с него. Эти две формы разделяют почти поровну площадь водосбора абразионно-тектоническим уступом, характерным для низинного побережья морского бассейна, который располагается между горстовым поднятием с абсолютными отметками 200-350 м и морской аккумулятивно-абразионной равниной. В условиях нивального климата даже при небольших поднятиях рельефа выявляется высотная зональность. Здесь наблюдается понижение температуры воздуха, что в свою очередь обуславливает образование многолетних снежников и ледничков, формирующихся в глубоко врезанных руслах рек. В свою очередь на нижней ступенчатой аккумулятивно-абразионной равнине незначительными пятнами представлена скудная растительность арктической тундры (лишайники, мхи).

Подстилающая поверхность водосбора сложена преимущественно крупнообломочным материалом разрушенных горных пород -песчаников, мощностью до 10 м (по данным графиков литологических разрезов из фондовых материалов ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)[4].

Согласно перечню гидрогеологических структур территория относится к Северо-Земельской Арктической сложной системе островных мерзлотных гидрогеологических массивов. Глубина оттаивания вечной мерзлоты – до 50 см.

# СХЕМАТИЧЕСКАЯ ОБЗОРНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА



## У С Л О В Н Ы Е   О Б О З Н А Ч Е Н И Я

- |   |  |   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|---|
| <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 30px; height: 20px;"> <tr> <td style="text-align: center;">А</td> <td style="text-align: center;">Б</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">А</td> <td style="text-align: center;">Б</td> </tr> </table> | А  | Б | А | Б | Возвышенная денудационная равнина: А-абсолютные отметки 200 - 350 м, Б-абсолютные отметки 350-600 м |
| А   | Б  |   |   |   |   |
| А   | Б  |   |   |   |   |
| <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 30px; height: 20px;"> <tr> <td style="text-align: center;">А</td> <td style="text-align: center;">Б</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">А</td> <td style="text-align: center;">Б</td> </tr> </table> | А  | Б | А | Б | Ступенчатая аккумулятивно-абразионная равнина: А - верхнеплейстоценовая, Б - среднеплейстоценовая   |
| А   | Б  |   |   |   |   |
| А   | Б  |   |   |   |   |
|   | Абразионно-тектонический уступ между денудационной и морской равнинами |   |   |   |   |
|   | Контуры долин древних фиордов  |   |   |   |   |

Рисунок 1.5

## 2. Измерения и расчеты используемых экспедиционных материалов и данных

### 2.1 Ландшафтно-маршрутная снегомерная съемка

Гидрологической группой экспедиции получены сведения о пространственных особенностях распределения снежного покрова на выбранном водосборе, его высоты и плотности. В 2014 году выполнена ландшафтно-маршрутная снегомерная съемка – 3 профиля, общей протяженностью 15,5 км. В соответствии с поставленными задачами, в ходе работ гидрологической группы на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова» в период с 15.05 по 26.05 выполнялась ландшафтно-маршрутная снегомерная съемка по профилям, пересекающим основные элементы рельефа речного бассейна. Местоположение профилей и точек измерений закреплялось регистрацией координат с помощью GPS-приемника. Высота снежного покрова измерялась через 100 м, каждое пятое измерение дополнялось измерением плотности с описанием колонки снега. Высота снежного покрова измерялась переносной снегомерной рейкой, а плотность – весовым снегомером ВС-43.



Методика наблюдений.

Для обеспечения дифференцированного учета водозапаса в снежном покрове производится снегомерная съемка по продольным и поперечным (реперным) профилям. Съемка выполнялась по стандартным методикам, принятым в гидрометеорологии и гляциологии. Производство работ и обработка полученных полевых материалов проводилось в соответствии с нормативной документацией [5] гл.13, [6], [7], [8].

Расположение снегомерных профилей показаны на рисунке 1.3 – Карта водосборного бассейна реки Мушкетова, стр.12

По результатам обработки данных снегосъемки на снегомерном профиле № 2, наблюдения проведены 17 мая, средняя высота снега составила 48 см, среднее значение плотности – 0,35м/10h,мм, общий запас воды – 168 мм. На рисунке красной линией показан средний уклон (19,5 ‰), пунктирной – уклоны на участке до и после точки перегиба рельефа, соответственно 35,9‰ и 15,1‰



На снегомерном профиле № 3, дата проведения 19 мая, средняя высота снега составила 53 см, среднее значение плотности – 0,34м/10h,мм, общий запас воды – 180 мм. На рисунке средний уклон = 14,0‰, уклоны на участке до и после точек перегиба рельефа, соответственно =17,7‰,20,2‰ и 20,7‰. Здесь профиль пересекает русло реки. Увеличение среднего значения высоты снега



произошло в следствии выпадения накануне, 18 мая 7,7 мм осадков.

Снегомерные работы на профиле № 4 выполнялись 26 мая, среднесуточные температуры воздуха за период с 20 мая плавно изменялись с -10,9 до -1,9 град. С. Средняя высота снега составила 41 см, среднее значение плотности – 0,38м/10h,мм, общий запас воды – 156 мм., что характеризует интенсивное таяние и уплотнение снежного покрова за указанный период (7 дней). На рисунке средний уклон профиля исключительно не характерен (24,6‰), уклоны на участке до и после точки перегиба рельефа - соответственно 17,7‰, и 20,2‰. Здесь профиль так же пересекает русло реки Правой Мушкетова ближе к истоку в районе залегания многолетнего снежника.

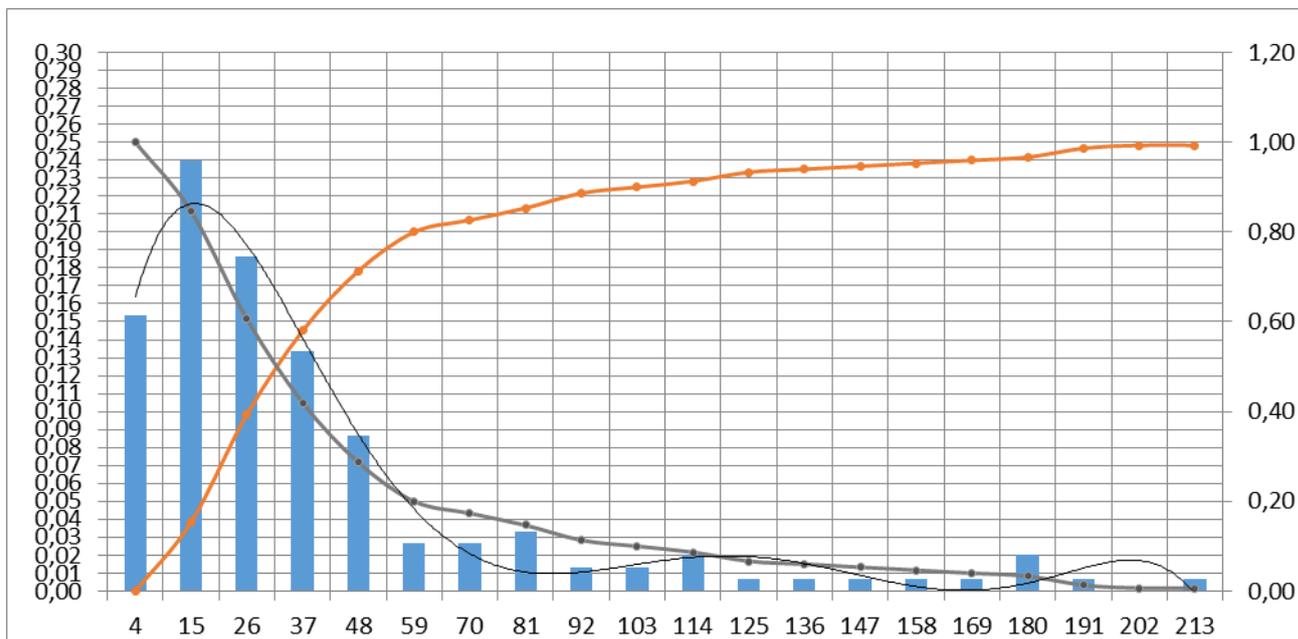


Точка перегиба совпадает с местом пересечения тектонического уступа. Средние значения высоты и плотности снежного покрова до и после совпадают, что является косвенным обоснованием использовать данные снегомерной съемки для всей площади бассейна. Для расчетов приняты данные снегомерной съемки от 19 мая (профиль № 3).

Статистические характеристики распределения снега по площади: ряд – 150 полученных значений высоты снега, максимальное – 222 см, минимальное - 5, среднее – 45,55; коэффициенты вариации – 0,96; асимметрии

– 2,15, соотношение – 2,2; СКО – 43,68, число попаданий в доверительный интервал 3-сигма – 97%.

Распределение показано на рисунке 1.6



Снежный покров в условиях сильно расчлененного рельефа, на склонах, характеризуется значительной пространственной неоднородностью и изменчивостью. Перераспределение выпавшего снега происходит под действием ветра и его характеристик, таких как скорость и направление. При метелевом переносе происходит перераспределение ранее отложенного снега, выдувания его на положительных формах рельефа и создания надувов в понижениях[9]. Исходя из физически обоснованного предположения, что метелевый перенос, возникающий при скоростях ветра более 6 м/с и который имел место быть в период снегонакопления в половине случаев (по данным метеорологических наблюдений на НИС\*), нивелирует поверхность и как следствие можно выделить диапазоны высот снежного покрова в зависимости от форм рельефа – склоны (83-223 см) и более пологие участки (0-77 см). Измерения в руслах рек, занятых, в том числе многолетними снежниками, не проводились. Результаты приведены ниже.

\*Таблицы стандартных метеорологических измерений (ТМС) – суточные значения метеорологических параметров представлены в приложении 1, роза ветров за период сентябрь 2013г.- сентябрь 2014г. – на рисунке 1.7



## 2.2 Гидрологические работы

Ведение мониторинга непрерывного гидрологического цикла и состояния водных объектов, расположенных на территории выбранного участка гидролого-криосферного полигона, отображает в совокупности особенности гидрологического режима изучаемых водных объектов-рек.

По содержанию программа наблюдений на ГПН соответствует типовой программе наблюдений для речного гидрологического поста ГП-1, которая включает в себя: наблюдения за уровнем и температурой воды, измерение расходов воды, наблюдения за мутностью воды (инструментально), отбор проб на гидрохимический анализ, наблюдения за состоянием водного объекта и метеорологическими параметрами.

Для производства регулярных наблюдений на реках вначале летнего этапа работ выполняется оборудование пунктов наблюдений, которое включает в себя: проверку и организацию высотной основы, установку водомерных устройства, осуществлена маркировка створов. В рамках топогеодезических работ геодезической группой выполнены работы по высотному обоснованию отметки нуля графика ГПН и системы плановых и высотных отметок, в том числе по обеспечению и контролю их устойчивого состояния.

Серии регулярных наблюдений на 6 ГПН осуществляются преимущественно с периодичностью 1 раз в 5 дней.

Наблюдения за уровнем воды (точность измерений 1 см) – производятся круглосуточно при помощи регистраторов уровня и температуры воды SolinstLeveloggerEdge. Контрольные наблюдения осуществляются в период измерения расходов воды методом геометрического нивелирования. Наблюденные уровни воды отнесены к принятой условной плоскости нуля графика поста, высотная отметка которой остается постоянной для всего периода наблюдений.

Измерение расходов воды производится с точностью измеряемого параметра в диапазоне 0.2-0.5%. Для выполнения работ по измерению расхода воды на гидрометрических створах одна из контрольных свай принимается за постоянное начало линии гидроствора, измерения производятся преимущественно вброд. Промеры на гидростворах осуществляются с помощью штанги гидрометрической ГР-56 М на выбранных, в зависимости от ширины водотоков, вертикалях (преимущественно через 0,5 м). Положение промерных вертикалей фиксируется разметочным тросом.

Измерения скоростей течения производятся вертушкой детальным способом (для построения эпюр скоростей потока) с применением измерителя скорости потока ИСП-1М (№1103, свидетельство о поверке 13/133 от 13.5.13; №1220, свидетельство о поверке 14/138 от 10.4.14). Все виды работ выполнены согласно [10], [11], [12], [13].

В результате организованных наблюдений за уровнем и температурой воды на пунктах гидрологических наблюдений (ГПН) были получены ряды непрерывных наблюдений, позволяющие после первичной обработки данных получить значения ежедневных среднесуточных уровней воды. Первичная обработка данных заключалась в последовательных преобразованиях данных записей регистраторов уровней воды (запись с Levelogger) путем введения автоматической барометрической компенсации (Barologger) и последующим приведением их к соответствующему, определенному «0» графика ГПН и к точкам фактически измеренным уровням воды.

Результатом обработки измеренных расходов и уровней воды является построение зависимостей  $Q=f(H)$  для последующей математической аппроксимации с целью вычисления ежедневных расходов воды. Ниже представлены график зависимости  $Q=f(H)$  по ГПН р.Мушкетова и его аппроксимация.

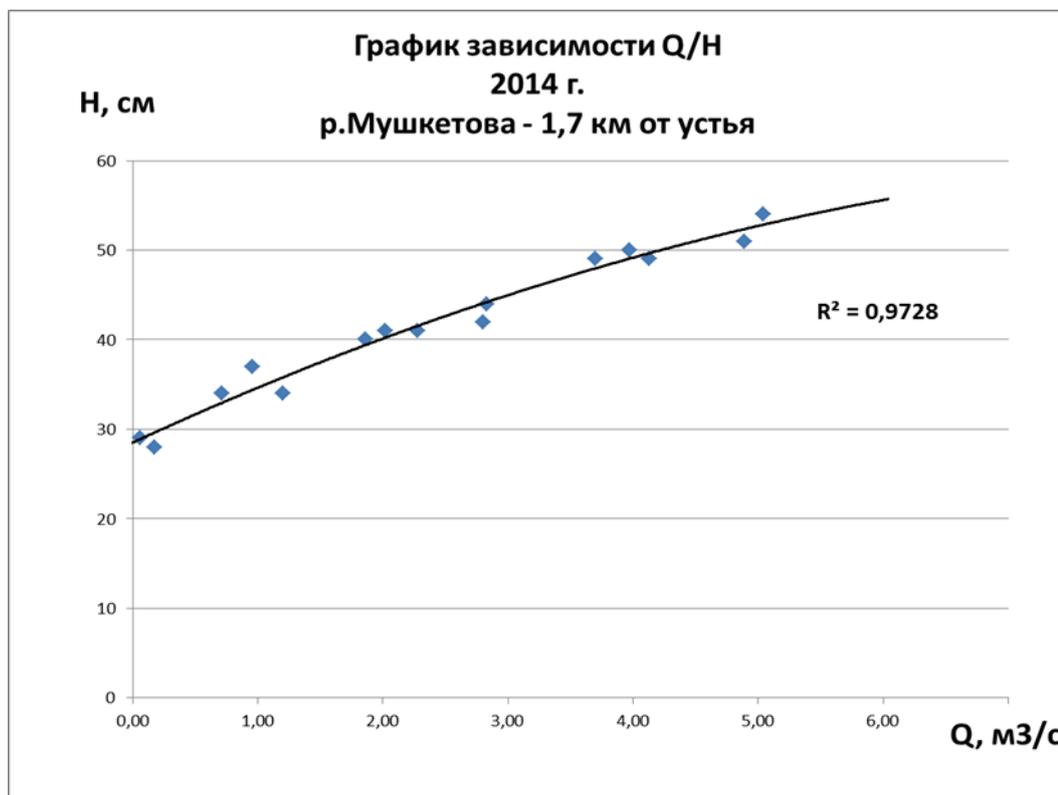


Рисунок 2.2 - График зависимости  $Q=f(H)$  р.Мушкетова - 1,7 км от устья 2014 г.

При анализе полученных зависимостей были определены уравнения регрессии параболического типа  $y = ax^2 + bx + c$ , где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты.

На основании принятых уравнений регрессии были вычислены значения ежедневных расходов воды за принятый гидрологический год (сезонный период стока). В результате получены суммарные значения стока за 2014 – 292,6 мм слоя.

Данные ежедневных расходов использованы для построения гидрографов стока исследуемых рек, комплексного графика и использованы в данной работе.

На комплексном графике (рисунок 2.4) просматривается устойчивая синхронность колебаний температуры воздуха, осадков и водности за исследуемый период. Это подтверждает существенную связь колебаний водности исследуемых водных объектов от метеорологических факторов.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ГРАФИК

### 3. Определение составляющих теплового баланса, расчет и анализ полученных результатов

#### 3.1 Тепловой баланс и его составляющие

При решении многих гидрологических вопросов широкое применение находят законы сохранения энергии и материи, которые могут быть выражены в форме уравнения теплового баланса, применительно к условиям водных объектов суши. Теплообмен между водным объектом и окружающей средой позволяет решать ряд гидрологических задач и может количественно выражаться через уравнение теплового баланса. При составлении уравнения теплового баланса необходимо осуществить учет всех потоков тепла.

Соотношение между составляющими этого уравнения определяет тип таяния. Из всего многообразия условий таяния можно выделить два основных типа таяния: адвективный и солярный (радиационный). Преобладание того или иного типа таяния зависит от интенсивности солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, скорости ветра, альбедо снежного покрова.

Наиболее правильным и научно обоснованным методом расчета интенсивности снеготаяния является метод теплового баланса, разработанный в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) П. П. Кузьминым. Этот метод позволяет рассчитывать интенсивность снеготаяния не только за сутки, но и за более короткие интервалы времени, что дает возможность получить ее внутри суточный ход. При использовании репрезентативных метеорологических данных метод дает практически хорошие результаты [14].

В результате анализа общего уравнения теплового баланса снежного покрова Кузьмин предложил рассчитывать интенсивность снеготаяния по уравнению:

$$S = S_{cp} - S_{э.и} \pm S_{т.а} , \quad (1)$$

где  $S$  – суммарный приток тепла к снежному покрову;

$S_{cp}$  – суммарная солнечная радиация, поглощенная снежным покровом;

$S_{э.и}$  – эффективное излучение, равное разности между излучением поверхности снега и встречным излучением атмосферы;

$S_{т.а}$ – турбулентный теплообмен с атмосферой с учетом расхода тепла на испарение и конденсацию.

Наиболее точные расчеты интенсивности снеготаяния могут быть получены при инструментальных измерениях составляющих теплового баланса по данным стандартных метеорологических наблюдений.

Определение составляющих теплового баланса при отсутствии актинометрических измерений производится следующим образом.

Суммарная солнечная радиация, поглощенная снежным покровом, вычисляется по формуле:

$$S_{ср} = (Q+q)_o (1 - r) (1 - 0.20 N_o - 0.47 N_n), \quad (2)$$

где  $(Q+q)_o$  – суммарная солнечная радиация при безоблачном небе, кал/(см<sup>2</sup>\*сут;  $Q$  – прямая солнечная радиация,  $q$  – рассеянная радиация;

$(1 - r)$  – коэффициент отражения (альbedo) снежного покрова в долях от единицы;

$N_o$  и  $N_n$  - общая и нижняя облачность.

В данных расчетах использовались среднесуточные значения параметров, полученные по данным 8-ми срочных стандартных метеорологических наблюдений, проводимых круглогодично на НИС и отраженных в соответствующих документах (ТМС).

Величина суммарной радиации  $(Q+q)_o$ , которая определяется в зависимости от широты местности  $\varphi$  и даты расчета, ввиду расположения объекта исследований на 79° северной широты была определена по [15]. Интерполяция между значениями была выполнена с помощью кубического сплайна.

Поправочный коэффициент на облачность так же рассчитывался с учетом полярного дня как среднее арифметическое из значений четырех сроков наблюдений. Вычисление данного коэффициента как средневзвешенного значения по предложенной методике производилось с 26 августа, когда высота

солнца стала отрицательна, а сутки можно было уже разделить на светлую и темную части. Высота солнца, определенная по таблицам на некоторые даты приведена в таблице 3.1[16].

Таблица 3.1 – Высота солнца на некоторые даты  $\varphi = 79,26^\circ$  ш.  $\lambda = 101,75^\circ$  в. д.

Стандарт. сроки метеонаблюдений, время UTC (местное)	Дата										
	19 июн	30 июн	10 июл	20 июл	31 июл	10 авг	20 авг	26 авг	31 авг	5 сен	10 сен
18 (02), 0:45 ист.солн.вр.	12,9	12,6	11,6	10,0	7,6	5,1	2,0	0,1	-2,1	-3,9	-5,8
00 (08), 6:45 ист.солн.вр.	25,1	24,7	23,7	22,0	19,6	17,0	14,0	12,0	10,4	8,6	6,9
06 (14), 12:45 ист.солн.вр.	33,9	33,6	32,7	31,1	28,6	25,9	22,7	20,7	18,9	17,0	15,1
12 (20), 18:45 ист.солн.вр.	21,0	20,8	19,9	18,3	15,9	13,2	10,0	8,0	6,1	4,5	2,6

Альбедо снега предложено принимать средним за весь период снеготаяния, равным 0,5[17]

$$S_{э.и} = \varepsilon \sigma T_{п}^4 - (0,62 + 0,05 \sqrt{e_2})(1 + 0,12 N'_{о} - 0,12 N'_{н}) \varepsilon \sigma T_{а}^4, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  - относительная способность длинноволновой радиации поглощаться верхним (деятельным) слоем, для снега  $\varepsilon = 0,99$ ;

$\sigma$  - постоянная Стефана – Больцмана, равная  $1,188 \cdot 10^{-7}$ ;

$T_{п} = (273 + t_{п})$  – абсолютная температура поверхности снега, где  $t_{п}$  – температура поверхности,  $^\circ\text{C}$

$T_{а} = (273 + t_{а})$  – абсолютная температура воздуха на высоте 2 м над

$N'_{о}$  и  $N'_{н}$  – общая и нижняя облачность, средняя за сутки, в долях от единицы.

$$St.a = bc \gamma u_{10} L, \quad (4)$$

где  $bc = 0,878 (1 + 0,547 u_{10} / u_{10})$  мм\*с/(м\*сут\* $^\circ\text{C}$ );

$\gamma = (t_2 - t_{п}) + (1,75 (e_2 - e_{п}))$  в  $^\circ\text{C}$ ;

$u_{10}$  - скорость ветра на высоте флюгера, м/с;

$e_2$  и  $e_{п}$  упругость водяного пара на высоте 2 м и максимальная упругость водяного пара по температуре поверхности снега, мбар;

$L$  – удельная теплота плавления, кал/г.

Подставив (2) - (4) в (1) и разделив на удельную теплоту плавления льда 80 кал/г, получаем расчетную формулу суточной интенсивности снеготаяния (а мм/сут) вида

$$a = 0,125[(Q+q)_o (1 - r) (1 - 0,20 N_o - 0,47 N_n) - 1440\varepsilon\sigma T_p^4 + 1440(0,62+0,05\sqrt{e_2})(1 + 0,12 N'_o - 0,12N'_n)\varepsilon\sigma T_a^4] + bc\gamma u_{10}, \quad (5)$$

или в общем виде аналогично (1)

$$a = a_{cp} + a_{э,и} + a_{т.а}. \quad (6)$$

Рассчитанные таким образом при помощи представленных в [14] номограмм суточные значения снеготаяния (по балансу тепла поверхности снега) справедливы только при сплошном залегании снежного покрова (проталины занимают не более 2,5% всей площади) и называются неприведенной суточной интенсивности снеготаяния.

В случае несплошного залегания снежного покрова для определения приведенной интенсивности снеготаяния необходимо значения неприведенной интенсивности снеготаяния умножить на среднее суточное значение коэффициента покрытости площади снегом  $s_v$  долей от всей площади водосбора.

Коэффициент покрытости  $s_v$  определяют по кривым обеспеченности неравномерности залегания снежного покрова. Для определения данного коэффициента была использована кривая  $S_v = 0,90$ , типичная в случае большой изрезанности водосборного бассейна и подсчитаны модульные коэффициенты. Рассчитаны среднее суточное значение коэффициента покрытости и вычислены значения приведенной суточной интенсивности снеготаяния на каждые сутки.

Снеготаяние на рассматриваемом водосборе характеризуется датами: Начало снеготаяния – 22 мая, начало водоотдачи – 23 мая, сход основной массы снега ( $s=0.50$ )–5 июня, конец снеготаяния – 11 июля

Продолжительность периодов снеготаяния:

1 период – 1 день, 2 период – 13 дней, 3 период – 37 дней

Продолжительность периода водоотдачи из снега –50 дней

Среднее значение интенсивности снеготаяния за период водоотдачи из снега: не приведенный слой – 12,8 мм/сут., приведенный –3,68 мм/сут.

Максимальные значения: не приведенный слой – 27,9 мм/сут., приведенный – 14,9 мм/сут.

Адвективная составляющая снеготаяния:  $\Sigma a_{т.а.}/\Sigma a = 34,7/640,7=0,0542=5\%$

Радиационная составляющая снеготаяния:  $\Sigma a_{ср} + \Sigma a_{э.и} = 1038,3-432,3=606/640,7= 0,9458 = 95\%$

### 3.2 Расчет водоотдачи из снежного покрова

Для данного расчета был выбран метод А. Г. Ковзеля. Расчет водоотдачи из снега по этому методу базируется на теплобалансовом методе расчета интенсивности снеготаяния. В упрощенную схему расчета водоотдачи из снега положен графо-аналитический способ учета регулирования талых вод снежным покровом в условиях неравномерного распределения запасов воды в снеге по площади. Для характеристики степени неравномерности распределения снегозапасов по площади используется кривая обеспеченности снегозапасов  $h = f(F)$ , которая в свою очередь характеризуется значением коэффициента вариации по площади  $C_v h$  при  $C_s = 2C_v$ .

При таком неравномерном распределении запасов воды в снеге по площади водосборного бассейна ход водоотдачи будет весьма пестрым. Сначала талая вода будет удерживаться снежным покровом и водоотдача из снега на тех или иных участках водосбора не наступит до тех пор, пока на них суммарный слой таяния  $\Sigma a$  не превысит величину  $0,3h$ . Чем меньше запас в снеге в данной точке, тем меньше по абсолютному значению должен быть суммарный слой таяния, для того чтобы произошла водоотдача из снега. Следовательно на участках, где запасы воды в снеге наименьшие, водоотдача наступит раньше, чем на участках, где они больше и где будет происходить только накопление талой воды за счет водоудерживающей способности снега.

При увеличении суммарного слоя таяния  $\Sigma a$  процесс водоотдачи захватывает все новые площади.

Для расчета водоотдачи по данному методу при неравномерности распределения снеготаяния по площади требуется предварительный расчет интенсивности снеготаяния по методу теплового баланса, а непосредственно расчет производить по кривым обеспеченности снеготаяния. Изменение значений модульных коэффициентов снеготаяния по площади идентичны изменениям значений модульных коэффициентов суммарных не приведенных интенсивностей таяния. Сами значения модульных коэффициентов  $K_h - h_i/h$  практически совпадают со значениями модульных коэффициентов таяния  $K_a = \Sigma a/h$ , так как  $\Sigma a$  представляет собой слой таяния снега на тех участках, где он имеется, и в момент полного таяния снега на этих участках  $\Sigma a$  будет практически равно запасам воды в снеге, отсюда  $h_i/h = \Sigma a/h$ , а  $K_h = K_a$ . Коэффициент водоудерживающей способности снега в этом методе принимается постоянным и равен 0,3.

Результатом вышеизложенного способа расчета водоотдачи являются приведенные слои водоотдачи с учетом доли площади водосбора, на котором происходит водоотдача.

Данный способ расчета водоотдачи из снега достаточно точен и дает наглядное представление о процессе регулирования талой воды снежным покровом. При упрощении схемы расчета получается зависимость коэффициента водоотдачи  $K_v$  от трех параметров

$$K_v = f(K_a, C_v h, \alpha_n)$$

Непрерывно изменяется только коэффициент таяния  $K_a$ , а  $C_v h$  и  $\alpha_n$  принимаются постоянными. По суточным значениям  $K_a$  и постоянному значению  $C_v h$ , используя соответствующую таблицу значений  $K_v$  путем интерполяции определяются суммарные значения модульных коэффициентов водоотдачи из снеготаяния каждые сутки. Разность значений  $K_v$  текущих и предшествующих суток представляет собой модульный коэффициент

приращения водоотдачи текущий суток – дельта Кв. Отсюда абсолютное суточное значение водоотдачи из снега, приведенный слой, составит  $V = \text{дельта Кв} \cdot h$ .

По данному способу были рассчитаны суточные значения водоотдачи. Результаты расчетов в табличной форме представлены в приложении 2. Анализ полученных результатов расчетов интенсивности снеготаяния методом теплового баланса методом Константинова и водоотдачи из снежного покрова методом Ковзеля приведены ниже.

Под водоотдачей из снега понимается процесс поступления на поверхность почвы избыточной (не удерживаемой снегом) гравитационной талой и дождевой воды. Вследствие водоудерживающей способности снега, как отмечено выше, водоотдача не имеет места в начальный период снеготаяния (первый период 21.5-4.6, 0,5s-5.6). Во второй(5.6-19.6, 0,2s) и третий периоды (20.6-20.7) снеготаяния водоотдача из снега превышает интенсивность за счет талой и дождевой воды, временно задержанной в первый период снеготаяния.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дальнейшем, при накоплении материалов, разработке и апробации соответствующих методик измерений, обработки и анализа полученных натурных данных представляется возможным дать адекватную оценку состояния и динамики в разрезе межгодовой изменчивости.

Методологически системно-комплексный подход к решению ряда задач представляется предпочтительным ввиду

В свою очередь гидрологически неизученная территория гидролого-криосферного полигона занята вечной мерзлотой, работ по изучению стока с которой в 2014 году не производилась. Влияние таяния вечной мерзлоты на суммарный пресноводный сток, как расходной составляющей водного баланса, в частности необходим для оценки притока пресных вод в акваторию СЛО с учетом влияния на процессы, происходящих в нем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическая записка о работе научно – исследовательского стационара «Ледовая база «Мыс Баранова»
2. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Гидрометеиздат, 1970, 308с.
3. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом.– Гидрометеиздат, 1986, 92 с.
4. Северная Земля. Геологическое строение и минералогения. – СПб, ВНИИОкеангеология, 2000, 187 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3, ч.1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.
6. Методические указания управлениям гидрометслужбы № 65. Производство ландшафтно-маршрутных снегомерных съемок. – Л.: ГГИ, 1963. – 13 с.
7. Руководство по снегомерным работам в горах. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 148 с.
8. Метод контрольной (нормальной) снегосъемки //Труды ЗакНИГМИ, вып. 13, 1963.
9. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. - Л., Гидрометеиздат, 1960, 169 с.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.6, ч.П. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 266 с.
11. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.2, ч.П. Гидрологические наблюдения на постах. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 264 с.
12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.6, ч.1. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 384 с.

13. Руководство воднобалансовым станциям / ГГИ – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 306 с.
14. Самохин, А. А. Практикум по гидрологии: учебное пособие для студ. вузов / А. А. Самохин, Н. Н. Соловьева, А. М. Догановский. - Л.: Гидрометеиздат, 1980, 296 с.
15. Радиационный и тепловой баланс Арктики, «Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института», 1961, т. 229, Стр.117-131
16. Барашкова Е.П., Гаевский В.Л., Дьяченко Л.Н., Лугина К.М., Пивоварова З.И., Радиационный режим территории СССР - Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 508 с.
17. Кузьмин П.П. Физические свойства снежного покрова. - Л.: Гидрометеиздат, 1957, 179с.