ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(СПбГУ)

**Романов Степан Геннадьевич**

# Формирование гидрохимического стока рек полярных регионов на примере р. Лены и р. Северной Двины

Выпускная квалификационная работа магистра

по направлению 021600 «Гидрометеорология»

Научный руководитель:

к.х.н., доц. Т. М. Потапова

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2017

Заведующий кафедрой:

к.г.н., доц. П. Н. Священников

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2017

Санкт-Петербург

2017

Аннотация

На основе обобщения кадастровых и экспедиционных данных определены основные факторы, формирующих химический состав природных вод территории. Показано, что на химический состав исследуемых рек: Лена и Сев. Двина большое влияние оказывают подземное питание. Проведена оценка роли грунтового питания в формировании гидрохимического (ионного) стока исследуемых рек. Проведена оценка доли подземной составляющей при помощи метода расчленения гидрографа и расчета величины общей минерализации за многолетний период наблюдений. Установлено, что для рек Лена и Сев. Двина доля грунтовой составляющей ионного стока составляют соответственно 23 - 44%. На основе проведенных современных экспедиционных исследований 2004-2016 на Оленекской, Туматской, Быковской и Тофимовской протоках устьевой области р. Лены определены основные гидрологические (расходы воды, расходы наносов) и гидрохимические (ионный состав, растворенный кислород) характеристикии в период зимней межени и на спаде половодья.

Abstract

Based on the generalization of cadastral and expedition data, the main factors forming the chemical composition of the natural waters of the territory are identified. It is shown that the chemical composition of the studied rivers: the Lena and North. Dvina is greatly influenced by underground waters. The evaluation of the role of ground water in the formation of hydrochemical (ion) runoff is appreciated. On the base of hydrographs and total mineralization the part of underground runoff is estimated. It was found that for rivers Lena and North.Dvina the part of the ground ionic runoff is respectively 23 and 44%. On the basis of contemporary field research on 2004-2016 Olenek, Tumskoy, Bykovskaya and Totimoshi ducts of the mouth area of the Lena river the main hydrological (water discharge) and hydrochemical (ion composition, dissolved oxygen) characteristics in the period of winter low water and low tide were estimated.

**Содержание**

Введение…………………………………………………………………………………………4

1. Физико-географическое описание объектов исследования…………………………..6

1.1 Выбор объекта исследования и его географическое положение……………………..6

1.2 Рельеф и геологические условия рассматриваемой территории……………………..8

1.3 Климатическая характеристика рассматриваемой территории……………………..10

1.4 Почвы и растительность……………………………………………………………….12

1.5 Гидрографическая сеть………………………………………………………………...13

2. Гидрологический и гидрохимический режим объектов исследования……………..15

2.1. Гидрологический и термический режим объектов исследования…………………..15

2.2 Гидрохимический режим объектов исследования…………………………………...17

3. Методы отбора и обработки проб воды, анализа результатов………………………19

3.1 Обзор литературных источников и опубликованных материалов………………….19

3.2 Методы гидрологических работ и отбора проб воды………………………………...21

3.3 Методы определения гидрохимических параметров воды…………………………..23

4. Гидрохимическая характеристика водных объектов дельты реки Лены на основе результатов экспедиции Лена-2016…………………………………………………………...25

4.1. Формирование химического состава поверхностных вод рассматриваемой территории……………………………………………………………………………………...25

4.2. Результаты гидрологических работ в дельте р. Лены в 2016 году……………….....27

4.3. Результаты обработки проб экспедиции Лена-2016…………………………………28

5. Оценка связи расхода и минерализации для различных групп рек арктической зоны…………………………………………………………………………………………......32

6. Оценка доли подземного питания и расчет общего гидрохимического стока р. Лены…………………………………………………………………………………………….36

6.1. Описание метода……………………………………………………………………….36

6.2. Результаты расчета подземного притока методом расчленения гидрографа………39

6.3 Оценка доли подземного питания рассматриваемых рек на основе внутригодовой изменчивости гидрохимических показателей………………………………………………40

6.4. Результаты оценки по различным рядам данных…………………………………....41

6.5. Расчет гидрохимического стока р. Лены………………………………………….…43

Выводы………………………………………………………………………………….44

Список литературы……………………………………………………………………46

Приложения…………………………………………………………………………….49

**Введение**

Речной сток и его химический состав – важные индикаторы климатических изменений. Поэтому актуальность изучения геохимического стока в арктических областях обеспечивается, прежде всего, получением информации о других природных процессах, таких как: изменение состава морских вод, повышение температуры многолетнемерзлых пород, взаимодействие поверхностных и подземных вод в криолитозоне, трансформация элементов в геохимических циклах и т.д. В частности, необходимость изучения геохимического стока была обоснована межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Среди проблем, связанных с геохимическим стоком рек, МГЭИК выделила увеличение кислотности и уменьшение общей солености океанических вод в высоких широтах. В региональных докладах Межправительственной Комиссии также указано, что недостаток данных по стоку рек северной Азии и северной Европы не позволяет обосновать достоверность вышеуказанных трендов (http://www.ipcc.ch). Изучение природных вод арктической зоны также обусловлено увеличением стока северных рек, которое может быть вызвано как глобальным потеплением климата, так и другими антропогенными или естественными причинами. Многолетнее изменение стока рек Лена и Сев. Двина особенно заметно при анализе рядов минимального стока (Приложение А).

Такжесостав природных вод – важнейший критерий при водохозяйственном планировании территории. Определение таких показателей как минерализация, ионный состав, кислотность, количество растворенных газов и микроэлементов является необходимым при поставке питьевой воды населению, обеспечении коммунально-бытовых нужд и рыбных хозяйств. Нерациональное размещение зависимых от состава водных ресурсов предприятий может повлечь значительное увеличение затрат на водоподготовку. Например, в монографии Н.П. Анисимовой (Анисимова Н.П, 1971) указано, что «Несмотря на развитую гидрографическую сеть и наличие мощных рек, в Восточной Сибири ощущается большой недостаток в воде, особенно зимой, так как многие реки в этот период перемерзают. Развитие промышленности, расширение золотодобычи и создание новых элементов инфраструктуры часто встречает большие трудности при решении вопросов водоснабжения». Кроме того, остается актуальным проблема развития гидроэнергетики в северных регионах. На текущий момент на притоках р. Лена реализованы только два проекта ГЭС (Вилюйский каскад, Мамаканская ГЭС), большая же часть энергетических ресурсов р. Лена и р. Сев. Двина остаются не задействованы. Однако, стоит отметить, что снижение темпов развития промышленности и отток населения из полярных регионов в постсоветский период делает этот аспект работы наименее актуальным.

Цель работы: Выявить особенности формирования гидрохимического стока арктических рек: Лены и Северной Двины.

Задачи:

1. Создать базу гидрологических и гидрохимических данных на основе архивных данных УГМС и современных экспедиционных данных.
2. Принять участие в весеннем и/или летнем этапе экспедиции лена-2016, обработать полученные материалы.
3. Сделать обзор литературы по проблеме изучения геохимического стока арктических рек.
4. Определить характерные значения и пределы изменчивости гидрохимических показателей в водоемах и водотоках рассматриваемой области.
5. Установить функциональную зависимость между содержанием растворенных веществ и расходами воды.
6. Рассчитать доли подземного питания рек рассматриваемого региона.
7. **Физико-географическое описание объектов исследования**
   1. **Выбор объекта исследования и его географическое положение**

Река Лена всегда представляла огромный научный интерес для российских и зарубежных учёных. В течение многих лет на р. Лены проводились многочисленные режимные наблюдения. Необходимость изучения природных условий территории также подтверждают экспедиции, которые регулярно проводятся в дельте р. Лены с 2004 года. В 2013 году на о. Самойловский было завершено строительство одной из крупнейших в заполярье научно-исследовательской станции, что позволило увеличить как количество экспедиций, так и объем получаемых данных. (Х. Кассенс и др. 2009) Возможность участия в одной из таких экспедиций и использования вышеуказанных современных данных и стало основной причиной выбора р. Лена как объекта исследования.

  
Рисунок 1.1. Бассейн реки Лены.

Основным объектом исследования является р. Лена. (Рисунок 1.1) Река протекает в Восточной Сибири и является одним из крупнейших водотоков мира, а также крупнейшей рекой, чей бассейн полностью лежит в зоне многолетнемерзлых пород. Истоком реки считается Байкальский хребет, а именно горное озеро в 10 км от берега оз. Байкал. До г. Якутска р. Лена протекает в зоне тайги в северо-восточном и восточном направлении, в нижнем течении направление русла меняется на северное, а таежные ландшафты постепенно сменяются лесотундровыми и тундровыми. По пути к морю Лена принимает множество притоков, крупнейшие из которых р. Алдан (2273 км), р. Витим (1837 км), р. Олёкма (1436 км), р. Киренга (669 км) (правые) и р. Вилюй (2650 км) и р.Нюя (798 км) (левые). Река впадает в окраинное море Северного Ледовитого океана – море Лаптевых. Площадь водосбора реки Лены 2490 тыс. км2, её длина (вместе с Быковской протокой) составляет 4400 км. (Алексеевский Н.И. и др. 2014). В административном отношении бассейн реки расположен целиком в пределах России, а именно в р. Саха (Якутия), в Иркутской и Амурской областях, в Красноярском, Забайкальском и Хабаровском краях, а также в республике Бурятия.

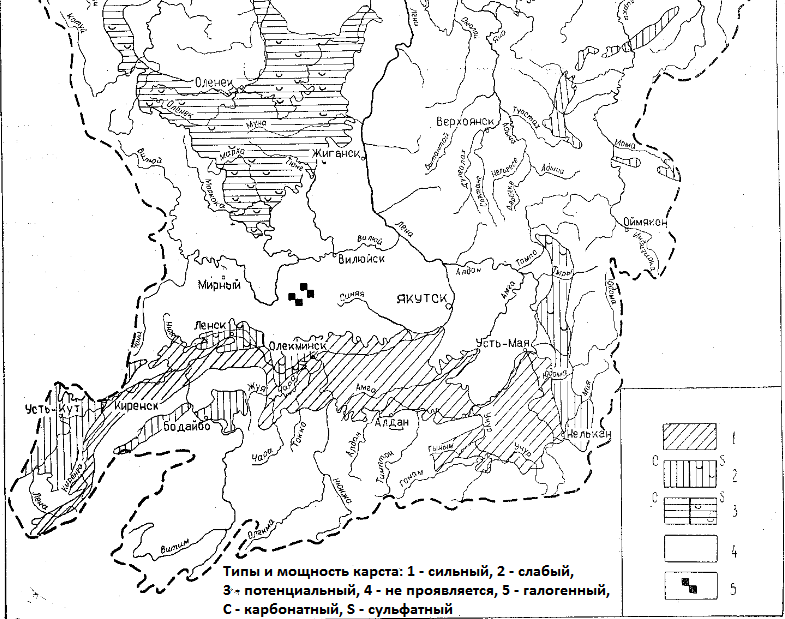
Отдельным гидрологическим объектом стоит считать дельту р. Лены, которую река образует при впадении в море Лаптевых. По современным данным площадь дельты составляет 32000 км2, что делает дельту р. Лены самой большой по площади дельтой в стране и третьей в мире. (Антонов В.С. 1967) Дельта Лены глубоко выдвигается в Море Лаптевых. Она тянется на 190 км с юга на север и 250 км с запада на восток. Крупнейшие рукава дельты (с запада на восток) – Оленекская Трофимовская, Туматская и Быковская (судоходная). В устьевой области расположено множество островов, крупнейшие из которых - Арга-Муора-Сисё, Харданг-Сисё, Курунгнах и Джангылах. На островах дельты встречаются термокарстовые полигональные и старичные озера, а ближе к приморскому краю – солоноватые лагунные озера. Вышеуказанные протоки, а также озера островов Самойловский и Курунгнах также являются объектами исследования настоящей работы.   
 Для сравнения был взят другой крупный водосбор арктической зоны – бассейн Северной Двины. **Северная Двина — река на севере Восточно-Европейской равнины, принадлежит бассейну Белого моря. Река почти полностью лежит в Архангельской области, однако бассейн реки простирается на Вологодскую, Кировскую области, а также республику Коми.** Северная Двина образуется слиянием рек Сухона и Юг, впадает в Двинскую губу. Собственная длина 744 км, с Вычегдой — 1803 км, площадь бассейна 357 тыс. км2. От истока до устья р. Вычегды называется Малой Северной Двиной. После впадения Вычегды водность основной реки увеличивается более чем вдвое. До устья р. Ваги течёт в широкой долине с крутыми склонами, много перекатов, отмелей и островов. От устья р. Ваги до впадения р. Пинеги долина резко сужается, склоны её большей частью крутые, сложены известняками. От р. Пинеги река разбивается на рукава, которые собираются в один поток у Архангельска. Ниже Архангельска начинается дельта площадью около 900 км2, крупнейшие рукава — Никольский, Корабельный, Кузнечиха, Маймакса, Мурманский. Влияние морских приливов распространяется до устья реки Пинеги. Питание смешанное, с преобладанием снегового. Средний расход воды у слияния Сухоны и Юга 770 м3/сек,в устье 3490 м3/сек. Главные притоки: левые — Вычегда, Пинега; правые — Вага, Емца. На реке расположены несколько крупных городов — Архангельск, Северодвинск, Великий Устюг, Котлас и др.   
 Бассейн Северной Двины имеет ряд общих черт с бассейном р. Лены, важнейшие из которых перечислены ниже:

1. Естественный режим – водосборы исследуемых рек объединяет отсутствие крупных регулирующих сооружений. На р. Лена имеется один крупный каскад ГЭС (Вилюйская), однако он охватывает менее 5% водосбора реки и не оказывает существенного влияния на режим. Крупнейшим водоподпорным сооружением на Северной Двине является плотина на Кубенском озере, гидроэнергетических сооружений на реке нет.
2. Общность приемного водоема – р. Лена и р. Сев. Двина несут воды в Северный Ледовитый океан, Лена впадает в море Лаптевых, Северная Двина – в Белое море.
3. Общность гидрологического режима – вышеуказанные реки объединяет высокая доля снегового питания, нестабильный характер Летне-Осеннего периода и продолжительная зимняя межень.
4. Низкая естественная зарегулированность территории – отсутствие крупных озер и невысокий коэффициент заболоченности водосборов определяет меньшее по сравнению с другими северными реками количество водных запасов на водосборе.

Среди основных отличий исследуемых водосборов стоит отметить многолетнюю мерзлоту. Северная Двина является самой восточной арктической рекой, чей водосбор полностью свободен от многолетнемерзлых пород, бассейн р. Лена полностью находится в зоне «вечной» мерзлоты. (Шепелёв В.В и др. 1984) Другим важным отличием является средняя высота водосбора. Северная Двина почти полностью находится на равнинной территории, около половины бассейна р. Лена лежит в низкогорной и среднегорной местности.

* 1. **Рельеф и геологические условия рассматриваемой территории**

Бассейн р. Лена имеет значительную протяженность как в широтном так и в меридиональном направлении и распространяется сразу на несколько макротектонических структур. Большая часть водосбора принадлежит к Сибирской платформе, поверхность которой имеет, в основном, равнинный характер. Частью сибирской платформы является Оленекско-Вилюйское плато, которое сформировано вулканогенно-осадочными породами триасового возраста, слабо расчленено по рельефу (высоты до 1000м) и занимает северо-западную часть Бассейна. Другим равнинным участком сибирской платформы, занимающим центральную часть бассейна р. Лена от р. Вилюй до р. Алдан, является Приленское плато, сложенное карбонатными, реже галогенными и гипсоносными породами палеозойского возраста. Рельеф этого участка также равнинный, слабо расчленен врезанными на 100-200 метров речными долинами, абсолютные отметки Приленского плато возрастают с северо-запада на юго-восток и составляют 300-800 метров. Наиболее сложной геологической структурой региона является Центрально-якутская низменность, которая приурочена к долинам рек Лена, Алдан и Вилюй в их среднем и нижнем течении. Она сложена терригенными породами как юрского и мелового, так и неогенового (Нижнеалданская впадина) возраста. Ключевым отличием низменности является широкое развитие четвертичных озерно-ледниковых и аллювиальных отложений на террасах рек, число которых может достигать 10 (на р. Лене). Наиболее возвышенная часть Сибирской платформы – Алданское нагорье сложено кристаллическими и метаморфическими породами протерозойского и архейского возраста. Высота рельефа поверхности плоскогорий 600-1200 метров, высота водоразделов 1600-2000 метров. Алданское нагорье, в целом, слабо повышается с севера на юг и достигает 2400 метров на водоразделе Лены и Амура (Становой хребет). ( Ресурсы, 1967) .  
 Вторая крупная тектоническая структура региона – Байкальская горноскладчатая область, внутри которой выделяют Северобайкальское и Патомское нагорье. Данная структура сложена породами протерозойского возраста и занимает южную и юго-западную часть бассейна (реки Витим, Чара, Киренга). Нагорья характеризуются среднегорным рельефом с абсолютными отметками до 2000 метров. Восточная часть водосбора расположена в пределах Верхоянско-Колымской горноскладчатой области. Сложенный отложеними пермского и карбонского возраста Верхоянский хребет протягивается в меридиональном направлении на 1200 километров и обрывается к долинам Лены и Алдана уступом высотой 400-500 метров. Абсолютные отметки хребта повышаются с севера на юг и составляют 1400-2300 метров.   
 Одной из особенностей геологического строения бассейна р. Лены являются карстующиеся горные породы. Карбонатный карст распространен практически по всей южной и юго-западной части водосбора, а именно: в верхнем и среднем течении рек Лена, Алдан, Амга, на всем протяжении рек Чара, Кута, Киренга. Менее распространен гипсоносный карст – растворимые сульфатные породы встречаются на правобережье р. Алдан, а также на р. Лена близ впадения р. Олекма. На водоразделе Вилюя и Лены обнаружен участок солевого (галогенного) карста. (Горбунова К.А. и др. 1988) Распространение карста в бассейне р. Лена показано на рисунке 1.2 (Ресурсы, 1967)

  
Рисунок 1.2 – Распространение карстующихся пород в бассейне р. Лены

* 1. **Климатическая характеристика рассматриваемой территории**

Бассейн р. Лены находится в трех климатических поясах: большая часть расположена в умеренном поясе, который при движении вниз по течению сменяется субарктическим, а потом и арктическом. В классификации климата, предложенной В.П. Кеппеном, климат рассматриваемой территории характеризуется как умеренно-холодный (континентальный) с сухой зимой и температурой самого холодного месяца -25 - -40 градусов. Южная и восточная часть бассейна р. Лена попадает под категорию равномерно увлажненного холодного климата.   
 Климат региона формируется под влиянием нескольких взаимодействующих факторов. Радиационный фактор – на поверхность поступает сравнительно небольшое количество солнечной радиации, особенно зимой, что объясняет высокую продолжительность холодного периода. Циркуляционный фактор – большую часть времени над регионом господствуют относительно холодные воздушные массы с северного и северо-западного направления, в зимний период преобладает сибирский антициклон, который приносит устойчивую холодную и малоснежную погоду. Стекание холодного воздуха в котловины может понижать температуру воздуха до экстремальных значений (-50 - -60 градусов и ниже). Важное значение имеет и орографический фактор – горные хребты не позволяют проникать теплому и влажному воздуху с западного и восточного направления, оставляя свободным проход холодного арктического воздуха. Ниже приводятся краткие сведения по отдельным компонентам климата.   
 а) Температура воздуха   
 Резко континентальный характер климата является причиной больших амплитуд температуры воздуха, которые составляют от 45 градусов в истоках р. Лена (ст. Качуг) до 62 градусов в районе Якутска.   
 Средняя годовая температура воздуха в бассейне реки Лены увеличивается с северо-востока на юго-запад от минус 13,4°С (м/ст. Тикси) до минус 4,3°С (м/ст. Качуг). Холодный период с температурой воздуха ниже 0°С длится порядка 7 месяцев в году (с начала-середины октября по третью декаду апреля).

Самым холодным месяцем в году является январь (минус 28,2°С – минус 43,2°С) с абсолютным минимумом в этот период минус 64,5 °С. (по м/ст. Якутск). Самый теплый месяц – июль (7,5-14,8°С) с абсолютным максимумом 38,4 °С. Внутригодовой ход температуры воздуха показан на рисунке 1.3

Рисунок 1.3. – внутригодовой ход температуры воздуха в бассейне р. Лены

б) Осадки   
 Годовой ход осадков на рассматриваемой территории определяется условиями атмосферной циркуляции и характером рельефа. Климат бассейна р. Лена характеризуется низким количеством осадков в зимний период (до 50мм) вследствие высокой повторяемости антициклонов и увеличением в период летнего усиления циклонической деятельности. Всего на относительно короткий период положительных температур приходится около 70% осадков.   
 Распределение осадков по территории бассейна неравномерное. Наименьшее количество осадков (250-300 мм) выпадает в Центрально-якутской низменности, а также в дельте р. Лены. Наибольшее количество осадков (1000 мм) выпадает в горных районах Станового хребта и Северо-Байкальского нагорья. В целом, для района характерно увеличение количества осадков с высотой. Внутригодовое распределение осадков на метеостанциях, расположенных в различных частях бассейна, показано на рисунке 1.4   
 Среднегодовая относительная влажность воздуха в центральной части бассейна равна 60-75 %, минимальная величина её достигается в мае – до 35-45%, максимальная наблюдается в январе – 85-90%. (<http://www.pogodaiklimat.ru/>)

Рисунок 1.4 – внутригодовой ход слоя осадков в бассейне р. Лены

* 1. **Почвы и растительность**

а) Характеристика почв.

По составу почвы бассейна р. Лена можно разделить на несколько групп: почвы тундровой зоны, почвы таежной зоны и азональные аллювиальные почвы. Также значительно отличаются по составу почвы горных районов.   
 Почвы тундровой зоны обычно маломощные, насыщенные влагой и бедные органическими веществами. Наиболее распространенным типом почв в тундровой зоне бассейна р. Лены являются глеевые торфянисто-болотные, которые переходят в подзолисто-болотные в лесотундре.   
 Почвы таежной зоны можно охарактеризовать как оподзоленные, влажные, а на низколежащих равнинах – повышенно засоленные. В северной тайге наиболее распространены мерзотно-таежные глеевые почвы, в средней тайге – таежные палевые мерзлотные почвы. Малое количество осадков и высокие летние температуры создают благоприятные условия для формирования в таежной зоне карбонатных (содовых) солончаков и сильно засоленных почв. Также в таежной зоне встречаются осолоделые почвы (таежные солоди). (.Почвенно-геологические условия нечерноземья, 1984)  
  
 б) Характеристика растительности.

Растительность бассейна р. Лена меняется в соответствии с природными зонами с севера на юг в следующем порядке: тундровая зона, зона лесотундры, таежная зона. В том же порядке смена растительности происходит при подъеме в горную местность.   
 Растительность тундровой зоны характеризуется повсеместным распространением мхов и лишайников при полном отсутствии среднего и верхнего яруса растительности. При продвижении к югу появляется кустарник, во влажных понижениях встречаются единичные ивы и лиственницы. Лесотундра проходит узкой полосой между зоныами тундры и тайги и в некоторых местах отсутствует вовсе. Растительность в данной зоне представлена редкостоящей и низкорослой даурской лиственницей при слабом развитии травянисто-кустарникового слоя. Зона северной тайги образована лиственничным лесом с редким включением сибирской ели, среди лесов нередко встречаются кустарниковые тундры. Среднетаежный лес отличается большей высотой, сплошной сомкнутостью крон и богатым травянистым ярусом. Лиственничная тайга прерывается степной, луговой и солончаковой растительностью, реже встречаются сосновые боры и еловые леса.

* 1. **Гидрографическая сеть**

Густота речной сети бассейна р. Лены меняется от 1,0 км/км2 в горных районах до 0,1 км/км2 в карстовых понижениях центральной Якутии и составляет в среднем 0,5 км/км2. В структуре водотоков преобладают очень малые водотоки (длиной менее 10 км), их доля от общего количества рек превышает 93% и составляет 57% от общей протяженности рек. Реки длиной свыше 100 км составляют лишь 0,1% от общего количества и только 16% от общей протяженности рек. Из-за высокого положения водоупора, на территории бассейна реки Лены образуются переувлажненные ландшафты. Общая площадь болот и заболоченных земель составляет 8-10% от территории водосбора. На водосборе реки Лена находятся более 100 тыс. озер, однако свыше 99,9% из них имеют площадь менее 10 км2. Общая озерность рассматриваемой территории не превышает 2%. Можно сделать вывод, что бассейн р. Лены обладает густой речной сетью, часть которой вследствие перемерзания и сложных геологических условий является непостоянной. По результатам анализа физико-географического положения объектов исследования можно составить сравнительную таблицу. Сравнение бассейна р. Сев. Двина и бассейна р. Лены приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – сравнительная х-ка бассейнов р. Лена и р. Сев. Двина*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Бассейн р. Лена | Бассейн р. Сев Двина |
| Площадь водосбора (тыс км2) | 2490 | 357 |
| Модуль стока | 6,90 | 9,55 |
| Средняя высота водосбора |  |  |
| Многолетняя мерзлота | Сплошная, на юге водосбора - прерывистая | Отсутствует |
| Карстующиеся породы | Широко распространен карбонатный карст, реже – сульфатный и галогенный | Распространен карбонатный и гипсовый карст |
| Растительность | Лиственничная тайга, на севере водосбора – лесотундра и тундра | Еловая тайга, на крайнем севере водосбора - лесотундра |
| Густота речной сети (км/км2) | 0,1 – 1,0 | 0,1 – 0,8 |
| Озерность/Заболоченность (%) | 2 / 8-10 | 1,5 / 9-10 |

1. **Гидрологический и гидрохимический режим объектов исследования.**

**2.1. Гидрологический и термический режим объектов исследования**

Реки бассейна Лены по условиям водного режима относятся к Восточносибирскому типу с ярко выраженным преобладанием стока в весенне-летний период, когда происходит таяние снега и льда.   
   
Рисунок 2.1 – ежедневные расходы воды на р. Лена (ст. Кюсюр) за год типичной водности  
   
 Основная фаза водного режима — половодье. На период снеготаяния (май-июнь) приходится от 35-50% годового стока в низовье р. Лена до 90-95% на малых реках центральной Якутии. Средние даты начала половодья совпадают с переходов средней суточной температуры через ноль. Раньше остальных половодье начинается на юге и юго-западе бассейна (конец апреля – начало мая), отсюда фронт половодья распространяется на север и северо-восток. И только в конце мая – начале июня половодье приходит в дельту р. Лена. Продолжительность половодья варьирует от 20-30 суток на малых реках, до 60-80 суток на реках Байкальского нагорья, где на спаде половодья обыкновенны ливневые осадки. Гидрограф половодья обычно имеет сильно растянутый однопиковый характер. Гидрограф р. Лена за год типичной водности показан на рисунке 2.1  
 После окончания весенне-летнего половодья на реках наступает летне-осенний период (июль-октябрь), в зависимости от года он может носить меженный, паводковый или смешанный характер, величина стока в этот период определяется подземными водами, таянием многолетних снегов и льдов, осадками и озерно-болотным стоком, водность летнее-осеннего периода имеет наибольшую изменчивость и в зависимости от года может составлять от 30 до 60% от годового стока р. Лена. Все реки региона обладают продолжительной и устойчивой зимней меженью (до 7 месяцев), но зимний сток обычно незначителен и составляет около 10-15% от годового для крупных и средних рек, а для малых перемерзающих рек сток в зимний период может составлять менее 1%. Высокая асимметричность гидрографа восточносибирского типа хорошо заметна на рисунке 2.2   
 *Рисунок 2.2 – Осредненный гидрограф р. Лена (ст. Кюсюр) за 1936-1994 гг.*

Реки рассматриваемого региона могут значительно отличаться по водному режиму. Наличие многолетних снегов и наледей в горных районах Якутии обуславливает растянутый характер половодья на ближайших реках. Большое количество осадков в летний период в южной части водосбора обуславливает паводочный характер гидрографа на малых и средних реках и превышение общего летне-осеннего стока над стоком половодья. Также стоит отметить, что гидрографы крупных рек закономерно имеют более сглаженный характер по сравнению с малыми, где 90-95% стока может проходить за один месяц (обычно май-июнь).   
 Режим рек в районе таликовой мерзлоты (юго-запад бассейна) зависит, прежде всего, от типа водообмена между поверхностными и подземными водами. По отношению к речному бассейну этот водообмен может быть положительным и отрицательным. В случае положительного водообмена повышаются норма годового стока, его внутригодовая зарегулированность и минимальный сток при снижении изменчивости стока и максимального стока. Во втором случае снижаются модули максимального и минимального стока, норма годового стока, его внутригодовая зарегулированность, но увеличивается коэффициент вариации годового стока. (Ресурсы 1967)

**2.2 Гидрохимический режим объектов исследования**

Основными факторами, определяющими гидрохимический режим территории и химическое качество поверхностных вод, является водный режим территории, климатические условия, геологическое и геоморфологическое строение территории, характер почв и растительного покрова.   
 Первостепенную роль играют климатические условия — именно они определяют водный режим территории и направленность процессов почвообразования. Неравномерное увлажнение, низкое испарение и высокое залегание водоупора (многолетняя мерзлота) обуславливают заболачивание территории, формирование мерзлотных тундровых торфянисто-болотных и таежных палевых почв. Из-за избыточного увлажнения палевые и болотные почвы хорошо промыты от соединений сульфатов и хлоридов, что значительно меняет соотношение органических и минеральных соединений в природных водах района. В условиях недостатка сульфатов и хлоридов и большого количество осадков формируются воды выраженного гидрокарбонатного (в весенне-летний и летне-осенний период) или гидрокарбонатно-хлоридного (в зимний период) типа незначительной или средней (до 500 мг/л) минерализации.   
 Водный режим рассматриваемой территории характеризуется наличием ярко выраженного весенне-летнего половодья, летне-осенних дождевых паводков и стабильной зимней меженью. Многолетние и сезонные колебания гидрохимических параметров определяются, прежде всего, чередованием лет разной водности, а также непостоянством фаз водного режима, прежде всего половодья.   
 Множество переувлажненных таежных и лесотундровых массивов оказывают существенное влияние на гидрохимический режим и состав поверхностных вод. Это влияние наиболее заметно в период весенне-летнего половодья и крупных дождевых паводков, когда из подстилки идет вымывание плохо разложившихся органических веществ гумусового происхождения, что приводит к резкому увеличению цветности, окисляемости и кислотности воды, а также увеличению относительного содержания ионов SO4, которыми богата подстилка. В то же время минерализация вод возрастает незначительно. (Воронков П.П 1951)   
 На территории рассматриваемого района распространены многолетнемерзлые породы различной мощности и трещиноватости: в районе верховья р. Лены распространена мерзлота островного типа, что обуславливает лучший водообмен с подземными водами и приводит к местному повышению минерализации и жесткости воды. При продвижении к северу бассейна талики становятся меньше, количество сквозных таликов уменьшается, а мощность «вечной» мерзлоты увеличивается. Однако, даже в дельте реки найдены многочисленные подрусловые и подозерные талики, что делает контакт с подземными водами теоретически возможным на всей территории бассейна.   
 В целом, воды реки Лена можно описать как гидрокарбонатно-кальциевые малой или очень малой минерализации в период половодья и летне-осенних паводков, и гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые средней и повышенной минерализации в период зимней межени. Жесткость воды имеет высокую внутригодовую изменчивость и варьирует от мягкой в период половодья до очень жесткой в период межени, это обусловлено высоким содержанием кальция в подземных водах. Водородный показатель слабо варьирует от типично нейтральных вод до слабощелочных.

1. **Методы отбора и обработки проб воды, анализа результатов**
   1. **Обзор литературных источников и опубликованных материалов**

В рамках дипломной работы был проведен анализ литературных источников по проблемам определения особенностей формирования гидрохимического состава природных вод, расчета ионного стока, а также установления зависимостей между гидрологическим и гидрохимическим режимом поверхностных вод.

Первостепенная роль геохимического речного стока в океаническом осадконакоплении отражена в монографии «Речной сток в океан и черты его геохимии» (Гордеев В.В. 1983). В работе установлены кларки большинства химических элементов для рек мира, установлены нормы, пределы изменчивости и качественный состав геохимического стока для различных территорий.   
 В монографии Н.П. Анисимовой «Формирование химического состава подземных вод таликов» необходимость подробного изучения химического состава природных вод арктических регионов обусловлена проблемой дефицита водных ресурсов в районах распространения многолетнемерзлых пород. В книге подробно описаны условия формирования в том числе поверхностных вод. Также в книге приведена обширная статистика гидрохимических параметров талых, поверхностных, межмерзлотных и подмерзлотных подземных вод, а также таликов различных типов, которая была использована в главе 4 настоящей работы.   
 Наиболее обширным современным трудом, отражающим в том числе формирование геохимического стока р. Лена, его динамику и влияние на прибрежные и морские экосистемы является монография «Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития». (М.: МГУ, 2009). Например, в статье «Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены» (И.В. Федорова, Д.Ю. Большиянов и др.) показано значительное увеличение (до 0,5% в год) среднегодового стока р. Лены, также обосновано сопутствующее увеличение взвешенных наносов. Также, в рамках данной монографии, В.В. Гордеев рассмотрел сток и трансформацию микроэлементов в р. Лена.   
 Проблема связи гидрологических и гидрохимических характеристик впервые была затронута О.А. Алекиным («К изучению количественной зависимости между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР» - «Труды ГГИ», 1950). Автор рассмотрел общие процессы, формирующие химический состав поверхностных и подземных вод, привел соотношение главных ионов при разном типе питания, отразил общие закономерности изменения ионного состава в течение года и в многолетний период.  
 Исследования по изучению гидрологического и гидрохимического режима впервые были обобщены в 137 выпуске Трудов ГГИ (1966). К примеру, П.П. Воронков привел различные схемы расчленения гидрографа при том или ином типе подземного питания реки, по результатам расчета составил карты подземного питания и модулей подземного стока. В рамках той же монографии Б.Г. Скакальский методом расчленения гидрографа определил объемы стока различного происхождения, поступающего в русловую сеть. Тем самым автор определил химический состав вод в различные периоды года. Однако, Б.Г. Скакальский применял метод лишь к малым водотокам и не рекомендовал к использованию на водотоках большего масштаба. Также автор подробно описал особенности расчленения гидрографа для различных географических зон.   
 Наиболее цельно связь гидрографа и хемографа для рек севера описана в статье «Связь между гидрохимическим и водным режимом равнинных и горных рек СССР» (В.В. Фадеев Труды всесоюзного гидрологического съезда, Л., 1976). Описано влияние на химический режим таких факторов как площадь водосбора, карст и вечная мерзлота, водность года, сточные воды, приведены соответствующие зависимости. Отдельно выделена связь минерализации с отдельными ионами. Выбраны 7 типов уравнений для расчета связи M=f(Q) на реках с разными условиями (для рек с естественной зарегулированностью, для рек со значительной долей подземного стока и т.д.).   
 По генезису речной сток принято разделять на поверхностный и подземный. Химизм поверхностного стока изучен весьма подробно. Например, в монографии «Геохимия окружающей среды» приводятся средние значения гидрохимических характеристик для дождевой и талой воды, а также для поверхностного стока, который зависит, прежде всего, от типа растительности и почв рассматриваемой территории. Параметры для вышеуказанных составляющих стока обладают низкой изменчивостью в многолетнем плане, имеют четко выраженный годовой ход. Наиболее неопределенным звеном в этом случае выступает подземный сток. Он может нести значительное количество химических элементов, проявлять различную связь с поверхностным стоком, иметь своеобразный годовой ход и даже уменьшать общий расход воды в реке. В то же время подземный сток, дренируя различные горные породы, вносит наиболее существенный вклад в минеральную составляющую природных вод. Поэтому оценку связи гидрологических и гидрохимических параметров через анализ подземного стока можно назвать одной из особенностей данной работы.

* 1. **Методы гидрологических работ и отбора проб воды**

Гидрологические работы выполнялись в зимний меженный (апрель) и на спаде половодья (июль). В силу специфических климатических условий, методики отбора и обработки проб в разные сезоны несколько отличались.   
 а) В зимний период были выполнены гидрометрические наблюдения на главном русле р. Лена и на Оленекской протоке, произведен отбор проб на восьми озерах острова Самойловский.   
 Измерение расходов воды проводилось на двух протоках. Первый профиль был установлен на главном русле, на расстоянии 3 км выше по течению от о. Столб. Второй профиль был расположен на Оленекской протоке возле п. Чай-Тумус. Стоит отметить, что в зимний период гидрометрические работы начинаются с очистки ледового покрова от снега и последующим бурением лунки (для отбора проб воды и промеров глубин) или изготовлением майны (для измерения скоростей течений)   
 Также из-за трудности выбора подходящего створа, они были разбиты на местах летних измерений расходов воды. Промеры глубин выполнялись при помощи эхолота “Garmin” или при помощи лебедки с тросом. Так как толстый слой льда не позволяет выполнить промеры глубин с желаемой точностью, использовались данные летних промеров с поправкой на текущий уровень воды. Расстояние до берега и между вертикалями засекалось по GPS. По данным промеров глубин были построены профили поперечного сечения русла.   
 На каждом профиле выбиралось несколько вертикалей в характерных точках дна, количество и расстояние между ними зависело от ширины русла протоки. Измерения проводились на 3 вертикалях на главном русле и только на 1 вертикали на Оленекской протоке (по причине отсутствия стока).   
 б) В летний период были выполнены гидрометрические наблюдения на Главном русле р. Лены, на Быковской, Трофимовской, Бол. Туматской и Оленекской протоках, проведен отбор проб на 12-ти озерах острова Самойловский и 2-х озерах острова Курунгнах.   
 Измерение расходов воды проводилось на крупных протоках дельты на Быковской, Трофимовской, Оленекской и Туматской протоках, - на главных гидрометрических постах, на которых выполнялись ранее измерения наблюдателями станции Хабарова/Столб/Сокол. На Оленекской протоке были выбраны также дополнительные створы у пунктов 40 км ниже Гусинки, Гусинка и Чай-Тумус. Все створы были измерены на тех же местах, где измерялись расходы в предыдущие экспедиционные годы.   
 Промеры глубин выполнялись при помощи эхолота-картплоттера “Garmin”, глубины засекались каждые 20 метров. На основе этих данных были построены поперечные профили русел.   
 На каждом профиле выбиралось несколько вертикалей в характерных точках дна, количество и расстояние между ними зависело от ширины русла протоки (согласно Наставлению гидрометеорологическим постам и станциям, вып. 6, ч.1). На Быковской и Туматской протоках проводились измерения на четырех промерных вертикалях, на Оленекской брались три промерные вертикали, на Быковской - 4 вертикали, на Трофимовской было выбрано 5 вертикалей, на Туматской протоке - 4 вертикали.   
 в) В зимний и летний период измерение скоростей течения выполнялись гидрологическими вертушками ГР-21 на стандартных горизонтах: 0.2 Н, 0.6Н, 0.8Н. На основе измеренных данных были рассчитаны расходы воды и наносов на протоках р.Лены. Расходы посчитаны согласно наставлению, гидрометеорологическим станциям и постам (выпуск 6, часть 1 – гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках, Л., Гидрометеоиздат, 1978 г). Использован аналитический метод вычисления, скорости вычислялись по формулам (трехточечный метод):

V=0,25\*(V0,2+2\*V0,6+2\*V0,8)

Тарировочная формула вертушки ГР-21М №339:

V=0.222\*n+0.002

После расчета расхода воды производился расчет наносов (согласно Наставлению гидрометеорологическим постам и станциям, вып. 6, ч.1).   
 На вертикалях гидрометрических створов, а также на озерах, проводился отбор проб воды с различных глубин при помощи вакуумного батометра или пробоотборника Water Sampler PWS. Пробы воды фильтровались в лаборатории через заранее подготовленные (высушенные и взвешенные) бумажные фильтры («Белая полоса») на приборе Куприна и через специальные фильтры GF/F (glass microfibre filters) на фильтровальной установке, размер пор фильтра 0.45 µм диаметр 4.7 µм. Далее фильтры с наносами высушивались и взвешивались в лаборатории станции о. Самойловский. По полученной разнице веса фильтров до и после фильтрации рассчитывалась мутность воды, после чего рассчитывались расходы взвешенных наносов.   
 Из озер и проток были взяты пробы воды на содержание окрашенного растворенного органического вещества (CDOM), растворенного органического углерода (DOC), биогенных элементов, ионный и изотопный состав воды. Пробы на содержание биогенных элементов и ионный состав профильтровывались через CA-фильтры (cellulose acetate filters - диаметр пор 0.45 µм), а пробы на CDOM, DOC и изотопный состав – через GF/F-фильтры (glass microfibre filters - размер пор 0.70 µм) и отправлены для обработки в Санкт-Петербург.

* 1. **Методы определения гидрохимических параметров воды**

Для гидрохимических анализов пробы воды также отбирались при помощи вакуумного батометра или батометра-бутылки с поверхностного и придонного горизонта. В лаборатории определялась электропроводность *Eh* и pH воды при помощи мультипараметрического датчика, в летний период тем же образом определялось содержание растворенного кислорода. Также в лаборатории определялись такие показатели как растворенный кислород, перманганатная окисляемость и цветность.   
 Содержание растворенного кислорода определялось по йодометрическому методу: сразу после отбора в склянку с пробой добавляют 1мл раствора хлористого марганца и 1мл щелочного раствора йодистого калия. Пробу герметично закрывают, отстаивают, подкисляют и титруют раствором тиосульфата натрия до появления светло-желтой окраски. После этого добавляют 1мл крахмала и титруют тем же раствором до полного обесцвечивания пробы. Объем потраченного тиосульфата натрия эквивалентен содержанию растворенного кислорода в воде (Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши Л. Гидрометеоиздат 1977). Всего на растворенный кислород был произведен анализ 15 проб.   
 Перманганатная окисляемость воды определялась по ГОСТ Р 55684-2013 «Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости». Сущность метода заключается в окислении органических и неорганических веществ, присутствующих в пробе анализируемой воды заданным количеством перманганата калия в кислой среде в процессе нагревания, последующим добавлением оксалат-иона в виде раствора щавелевой кислоты и титровании его избытка раствором перманганата калия. Значение перманганатной окисляемости в пересчете на атомарный кислород определяется количеством перманганата калия пошедшего на титрование. Для определения перманганатной окисляемости было отобрано 25 проб воды.  
 Цветность воды в отобранных пробах определялась с помощью фотометрического метода. Сначала на спектрофотометре измеряют оптические плотности (D) эталонных растворов, цветность которых (y) 20, 40, 60, 80 и 100 градусов по платино-кобальтовой шкале (pt-co). По результатам измерения строят калибровочную кривую y(D). После этого на спектрофотометре определяют оптическую плотность в исследуемой пробе и по калибровочной кривой находят соответствующее значение цветности (ГОСТ Р  
52769-2007. «Вода. Методы определения цветности»). Всего показатель цветности был определен у 36 проб.   
 Ионный состав воды определялся методом Ионной хроматографии. Анализ проб данным методом производится при помощи прибора – ионного хроматографа. В приборе расположены две хроматографические колонки, в первой ионы разделяют на поверхностно-модифицированной ионообменной смоле низкой емкости, элюентами при этом служал сильно разбавленные растворы электролитов во второй колонке с ионитом высокой емкости обеспечивает резкое снижение фоновой электропроводности элюента вследствие его химического преобразования. Так, при разделении смеси анионов в первой колонке используют анионит, во второй - катионит в Н+-форме, а элюентом служит раствор карбоната натрия. Модификация элюента заключается в том, что карбонат натрия переводится в слабую угольную кислоту, которая вносит малый вклад в электропроводность раствора. При разделении смеси катионов первая колонка содержит катионит, вторая - анионит в ОН—форме, при прогонке элюент (соляная кислота) восстанавливается до воды. Таким образом, в обоих случаях в кондуктометрический проточный детектор попадает раствор, электропроводность которого обусловлена только определяемыми ионами без примеси растворителей. Сигнал детектора линейно зависит от концентрации ионов. В итоге тип катиона\аниона можно определить по времени его удерживания, а его содержание - по площади соответствующего хроматографического пика. Одним из основных недостатков метода является использование угольной кислоты в качестве элюента, что делает невозможным определение содержания бикарбонатов.

1. **Гидрохимическая характеристика водных объектов дельты реки Лены на основе результатов экспедиции Лена-2016.**
   1. **Формирование химического состава поверхностных вод рассматриваемой территории**

Для выявления особенностей формирования поверхностных вод рассматриваемой территории необходимо иметь представление о химическом составе основных составляющих поверхностного стока. Для бассейна р. Лены такими являются дождевые и талые воды, а также подземные: надмерзлотные и подмерзлотные воды.   
 Химический состав осадков имеет значительную изменчивость: минерализация дождевых вод меняется от 2,1 до 45 мг/л, снеговых – от 3,7 до 9,5 мг/л, однако не выходит за пределы характерной для осадков (Беус А.А. и др. 1976). Рассматриваемые воды имеют типичную для осадков гидрокарбонатно-натриевую композицию, низкое содержание сульфатов может говорить об относительно слабом загрязнении воздуха. Данные о химическом составе атмоферных осадков приведены в таблице 4.1. (ссылку!)

Таблица 4.1 – химический состав дождевых и талых вод

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Химический состав атмосферных осадков в центральной Якутии (1960 - 1965 г)** | Тип осадков | | Снег | | | Дождь | | |
| Количество проб | | 7 | | | 23 | | |
|  |  | Мин | Макс | Среднее | Мин | Макс | Среднее |
| **Сумма ионов** | | 3,7 | 9,5 | 7,2 | 2,1 | 45,0 | 12,1 |
| HCO3 | экв-% | 52 | 79 | 67 | 13 | 89 | 71 |
| мг/л | 2,4 | 7,6 | 5,6 | 1,8 | 41,5 | 9,5 |
| SO4 | экв-% | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 1 |
| мг/л | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 0,1 |
| Cl | экв-% | 21 | 48 | 33 | 11 | 88 | 28 |
| мг/л | 1,0 | 2,3 | 1,6 | 0,3 | 18,6 | 2,7 |
| Ca | экв-% | 11 | 52 | 30 | 10 | 78 | 38 |
| мг/л | 0,4 | 1,3 | 0,7 | 0,1 | 11,6 | 2,3 |
| Mg | экв-% | 0 | 28 | 10 | 0 | 64 | 15 |
| мг/л | 0,0 | 0,4 | 0,2 | 0,0 | 2,8 | 0,6 |
| Na+K | экв-% | 20 | 89 | 59 | 3 | 90 | 47 |
| мг/л | 0,6 | 3,2 | 1,9 | 0,1 | 10,6 | 1,6 |

Грунтовые и подземные воды в районах многолетней мерзлоты имеют достаточно сложную структуру. В условиях отсутствия мерзлых пород, внутри водоносного горизонта происходит достаточно активное движение водного потока, чем достигается относительно однородный гидрохимический состав в соседних частях горизонта. В районах залегания многолетнемерзлых пород водоносный горизонт пересекает один или несколько слоев «вечной» мерзлоты. Таким образом циркуляция вод внутри горизонта затруднена и воды одного водоносного горизонта можно разделить на надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные. (Фотиев С.М 2013) Типичными надмерзлотными водами являются наледообразующие источники центральной Якутии, залегающие в аллювиальных речных отложениях. Минерализация надмерзлотных вод находится в пределе 100 – 320 мг/л, что несколько ниже речных вод в зимний период. Воды источников имеют гидрокарбонатно-натриевый или гидрокарбонатно-кальциевый состав. Низкая минерализация и малое содержание хлоридов и сульфатов позволяют предположить, что данные воды являются профильтрованными через речные отложения дождевыми водами и не имеют связи с подмерзлотными горизонтами. Химический состав источников центральной Якутии приведен в таблице 4.2. (Анисимова Н.П., 1981)

Таблица 4.2 – химический состав надмерзлотных подземных вод

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Химический состав наледообразующих источников подземных вод (центральная Якутия) | | | | | | | | |
| Источник | Количество проб | Минерализация г/л | Содержание основных ионов экв-% | | | | | |
|  |  | Ca | Mg | Na+K | HCO3 | SO4 | Cl |
| Улахан-Тарын | 10 | 0,10 - 0,15 | 35 - 51 | 36 - 55 | 8 - 21 | 96 - 99 | <1 | 2 - 4 |
| Ерюю | 3 | 0,22 - 0,32 | 14 - 26 | 13 - 19 | 55 - 74 | 82 - 87 | <1 | 13 - 18 |
| Булус | 6 | 0,12 - 0,18 | 46 - 62 | 11 - 32 | 7 - 30 | 78 - 97 | 0 - 17 | 1 - 7 |

Стоит отметить, что химический состав наледного льда обычно отличается от состава наледеобразующих вод. Как правило, увеличивается относительная концентрация ионов Mg, Na, SO₄²‾ и Cl. Это результат различной интенсивности захвата льдом ионов, которая в значительной мере определяется их концентрацией, индивидуальными свойствами растворенных веществ, превращением гирокарбонатов в карбонаты и осаждением карбоната кальция. В целом, минерализация наледного тела ниже минерализации наледеобразующих вод. (Алексеев В.Р. 1976)   
 Состав водоносных горизонтов отличается высокой изменчивостью как по показателю минерализации (0,65 – 1,04 для Юрского водоносного горизонта и 0,39 – 1,83 для Кембрийского водоносного горизонта), так и по ионному составу. Такой разброс показателей, особенно для Кембрийских отложений, говорит о различном характере вод (надмерзлотные и подмерзлотные) относительно вечной мерзлоты. Гидрохимическая характеристика подземных вод приведена в таблице 4.3 (Анисимова Н.П., 1981)

Таблица 4.3 – химический состав подземных вод Юрского и Кембрийского водоносных горизонтов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Химический состав водоносных горизонтов в районе г. Якутска | | | | | | | | | |
| Вмещающая порода | Количество проб |  | Сумма ионов г/л | Содержание основных ионов мг-экв | | | | | |
|  | Ca | Mg | Na+K | HCO3 | SO4 | Cl |
| Юрские отложения | 8 | Мин | 0,65 | 0,00 | 0,10 | 4,49 | 5,75 | 0,00 | 0,92 |
| Макс | 1,04 | 4,53 | 7,83 | 15,40 | 14,50 | 5,46 | 5,89 |
| Среднее | 0,82 | 1,23 | 2,00 | 11,60 | 9,08 | 1,98 | 3,27 |
| Кембрийские отложения | 9 | Мин | 0,39 | 0,12 | 0,24 | 1,96 | 6,00 | 0,00 | 0,25 |
| Макс | 1,83 | 5,94 | 8,19 | 21,15 | 14,09 | 15,32 | 8,69 |
| Среднее | 0,97 | 2,13 | 2,86 | 12,47 | 10,01 | 3,45 | 3,25 |

* 1. **Результаты гидрологических работ в дельте р. Лены в 2016 году.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Протока | Период | Расход воды (м3/c) | Среднемноголетний расход (м3/c) | Расход наносов (кг/c) |
| Главное русло | Зима | 1380 | 1515 | 4,84 |
| Оленекская протока | Зима | 0 | 29,4\* | 0 |
| Оленекская протока – 40 км ниже ст. Гусинка | Лето | 2260 | - | 66 |
| Оленекская протока – ст. Гусинка | Лето | 2370 | - | 68 |
| Оленекская протока – ст. Чай-Тумус | Лето | 2040 | - | 50 |
| Оленекская протока – гидрометрический створ | Лето | 3310 | 2886 | 50 |
| Туматская протока | Лето | 3950 | 2810 | 190 |
| Быковская протока | Лето | 8920 | 10560 | 414 |
| Трофимовская протока | Лето | 24400 | 24800 | 622 |

На основе измеренных глубин и скоростей течений были рассчитаны расходы воды и наносов для двух створов в зимний период и для семи створов в летний период Расходы посчитаны согласно наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам (выпуск 6, часть 1 – гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках, Л., Гидрометеоиздат, 1978 г). Результаты расчетов приведены в таблице 4.4.   
Таблица 4.4 – результаты гидрологических работ в дельте р. Лены в 2016 году

\*за период наблюдений (1977-2004) только 6 зим русло оставалось не перемерзшим

* 1. **Результаты обработки проб экспедиции Лена-2016**

По результатам весеннего и летнего этапов экспедиции был проведен анализ проб природных вод дельты р. Лены на ионный состав, биогенные элементы, растворенные газы, а также перманганатную окисляемость и цветность.   
 В таблицах 4.5 и 4.6 представлены результаты измерений электропроводности (Eh), минерализации, рассчитанной на основе Eh, суммы главных ионов и pH для основных групп проб воды. По вышеуказанным параметрам можно увидеть значительное отличие между водотоками и водоемами дельты.   
 В зимний период амплитуда минерализации речных вод изменяется в узком пределе 260-300 мг/л, что позволяет отнести воды р. Лена в зимний период к водам средней минерализации. Гораздо больший диапазон наблюдается в водоемах о. Самойловский: минимальное значение (70мг/л) отмечено у озера №11, максимальное (150 мг/л) – у озера Банное-1. Таким образом, озера Банное-1 и Банное-3 можно отнести к водам малой минерализации, остальные озера – к ультрапресным водам. Измерение минерализации талых вод ожидаемо показало их ультрапресный характер, однако содержание солей в поверхностных слоях льда (20-50 мг/л) в несколько раз превысило их концентрацию в прозрачном глубинном льду (менее 5 мг/л). Из всех проб максимальные значения минерализации были отмечены в воде подрусловых таликов: значения сильно меняются от скважины к скважине, достигая 800 мг/л. Показатель pH у большинства проб находится в диапазоне 7-8, что позволяет охарактеризовать озерные и речные воды в зимний период как нейтрально-слабощелочные.

*Таблица 4.5 – рН и минерализация природных вод дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **рН** | **Eh μS/см** | **Минерализация рассчитанная мг/л** | **Минерализация (сумма ионов) мг/л** | **Количество проб** | **Место отбора проб** |
| 7,10 – 7,84 | 494 – 524 | 260 - 306 | 311 - 368 | 8 | **Водотоки** |
| 6,98 – 8,30 | 131 – 277 | 69 - 146 | 88 - 200 | 14 | **Водоемы** |
| 6,60 – 7,19 | 7 – 47 | 4 - 25 | - | 5 | **Снег** |
| 6,39 – 7,72 | 3 – 107 | 2 - 56 | - | 4 | **Лед** |
| - | - | - | 333 - 828 | 3 | **Талики** |

*Таблица 4.6 – рН и минерализация природных вод дельты р. Лены в летний период*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **рН** | **Eh μS/см** | **Минерализация рассчитанная мг/л** | **Количество проб** | **Место отбора проб** |
| 7,56 – 8,06 | 103 - 133 | 54 - 70 | 22 | **Водотоки** |
| 5,16 – 8,00 | 37 - 118 | 19 - 62 | 11 | **Водоемы** |

Был проведен анализ ионного состава речных и озерных вод дельты р. Лены. В катионном составе речных вод в зимний период преобладают натрий (1,94 – 2,33 мг-экв) и кальций (1,72 – 1,97 мг-экв) в анионном составе - гидрокарбонаты (1,69 – 2,35 мг-экв) и хлориды (1,72 – 2,03 мг-экв). Ионный состав речных вод в зимний период имеет слабую изменчивость как на вертикали, так и между протоками (*таблица 4.7*). Характерное для пресных вод содержание хлорид-иона (до 72 мг/л) и отсутствие повышения его концентрации с глубиной говорит о том, что морские воды не проникают глубоко в дельту даже в период наименьших расходов.

Химическая композиция озерных вод в зимний период имеет значительную изменчивость несмотря на близость водоемов друг к другу. Катионный состав магниево-кальциевый или кальциевый, анионный состав хлоридно-гидрокарбонатный или смешанный (*таблица 4.8*). Повышение содержания ионов гидрокарбоната и натрия в озерах Банное-1, Банное-3 и №9 может быть вызвано проникновением речных вод в период высокой воды.

*Таблица 4.7 – содержание катионов в природных водах дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора \компонент** | Количество проб | **Na** | | **Ca** | | **Mg** | |
| мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Речные воды** | 8 | 44,6 – 53,6 | 1,94 – 2,33 | 34,8 – 39,4 | 1,72 – 1,97 | 10,2 – 12,4 | 0,84 – 1,02 |
| **Озерные воды** | 14 | 1,1 – 7,8 | 0,05 – 0,34 | 13,6 – 30,4 | 0,68 – 1,52 | 4,1 – 12,0 | 0,34 – 0,99 |
| **Таликовые воды** | 3 | 24,2 – 45,1 | 1,05 – 1,96 | 38,2 - 104 | 1,91 – 5,20 | 11,3 – 31,4 | 0,93 – 2,58 |

*Таблица 4.8 – содержание анионов в природных водах дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора \компонент** | Количество проб | **Cl** | | **SO4** | | **HCO3** | |
| мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Речные воды** | 8 | 61,1 – 71,9 | 1,72 – 2,03 | 41,6 – 45,0 | 0,87 – 0,94 | 103 - 144 | 1,69 – 2,35 |
| **Озерные воды** | 14 | 15,8 – 21,2 | 0,44 – 0,60 | 13,6 – 17,1 | 0,28 – 0,35 | 24,4 - 107 | 0,40 – 1,77 |
| **Таликовые воды** | 3 | 35,0 – 47,0 | 0,99 – 1,33 | 16,2 – 39,0 | 0,34 – 0,81 | 152 - 553 | 2,5 – 9,1 |

Концентрация растворенного кислорода в озерах в зимний период изменяется в пределах от 6,8 (оз. Рыба) до 18 (оз. Моло) мг/л, что при температуре воды 4 градуса составляет от 50 до 140% насыщения соответственно. Эти показатели позволяют отнести воды всех озер к хорошо насыщенным (ПДК растворенного кислорода для ценных видов рыб – 6 мг/л). Летний период также отмечен высоким содержанием кислорода как в водотоках (60 – 119 % насыщения), так и в озерах (72 – 125 % насыщения). Результаты измерений концентрации кислорода в пробах приведены в таблице 4.9.

*Таблица 4.9 – содержание растворенного кислорода в водных объектах дельты р. Лены*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Концентрация O2 мг/л** | **Концентрация O2 (% нас)** | **Количество проб** | **Место отбора проб** |
| - | - | - | **Водотоки зима** |
| 6,82 – 18,19 | 52 - 139 | 15 | **Водоемы зима** |
| 6,43 – 12,70 | 60 - 119 | 20 | **Водотоки лето** |
| 7,96 – 14,45 | 72 - 125 | 11 | **Водоемы лето** |

Расчетное содержание углекислого газа в водоемах находится в пределах от 0,1 до 25 мг/л (таблица 4.10). Наибольшее содержание СО2 (25 мг/л) отмечено в озере Банное-1, которое, вероятно, связано с руслом реки и имеет большую карбонатную жесткость. Однозначного изменения концентрации углекислого газа с глубиной в озерах не прослеживается. Сезонная изменчивость концентрации углекислого газа на большинстве озер имеет небольшую амплитуду и зависит от количества гидрокарбонатов (таблица 7). Например, повышение концентрации СО2 зимой в озере №9 сопутствует повышению количества бикарбонатов, что может объясняться проникновением в озеро насыщенных HCO3- грунтовых или речных вод. В озере №10 подобная тенденция наблюдается летом и без связи с HCO3, что предполагает биогенный источник углекислого газа.

*Таблица 4.10 – содержание растворенного СО2 в водных объектах дельты р. Лены*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CO2 рассчит мг/л** | **CO2 измеренный мг/л** | **Количество проб** | **Место отбора проб** |
| 3,5 – 25,5 | 5,8 – 8,1 | 8 | **Водотоки зима** |
| 0,1 – 25,0 | 5,1 – 16,5 | 12 | **Водоемы зима** |

Был проведен анализ биогенных элементов (силикаты, фосфаты и нитраты+нитриты) в речных и озерных водах дельты р. Лены. Концентрации биогенных элементов в русловой сети в зимний период составляют 2013-2150 мкг\л для силикатов, 5,0-10,6 мкг\л для фосфатов и 6,0-26,0 мкг\л для нитратов. (таблица 4.11) Из однозначных тенденций можно отметить увеличение количества нитратов с глубиной в зимний период (таблица 8). Концентрации биогенных элементов в озерах в зимний период несколько меньше чем в реках и составляют 566-1307 мкг\л для силикатов, 5,2-13,8 мкг\л для фосфатов и 2,0-12,9 мкг\л для нитратов. Так же, как и у рек, можно отметить увеличение количества нитратов с глубиной в несколько раз. Однозначных тенденций по силикатам и фосфатам в зимний период не прослеживается. Сезонная изменчивость биогенов проявляется снижением количества силикатов и нитратов в летний период в 2-3 раза, что можно объяснить активизацией речной биоты, а также поступлением бедной органикой талой воды с водосбора во время половодья.

*Таблица 4.11 – содержание биогенных элементов в водных объектах дельты р. Лены (мкг/л)*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Si03** | **PO4** | **NO2 + NO3** | **NO2** | **Количество проб** | **Место отбора проб** |
| 1950 – 2150 | 5,02 – 10,9 | 4,57 – 26,0 | 2,67 – 24,8 | 8 | **Водотоки (зима)** |
| 536 – 2480 | 4,65 – 13,8 | 1,96 – 12,9 | 1,60 – 12,1 | 12 | **Водоемы (зима)** |
| 869 – 1070 | 6,92 – 14,2 | 1,64 – 2,02 | 1,67 – 2,12 | 8 | **Водотоки (лето)** |
| 466 – 503 | 10,1 – 11,8 | 1,36 – 1,43 | 1,25 – 1,35 | 2 | **Водоемы (лето)** |

В таблице 4.12 представлены значения перманганатной окисляемости (ПО) и цветности в исследованных водных объектах. Наибольшие значения ПО обнаружены в озере №9 (20мгO/л), а также в поверхностных горизонтах озер Банное-2 и Банное-3 (18 и 16 мгO/л соответственно). Наименьшее количество окисляемого органического вещества содержится в придонных горизонтах оз. Моло и оз. №10 (6,4 и 4,5 мгO/л). Перманганатная окисляемость водотоков имеет слабую изменчивость и находится в диапазоне 7-10 мгО/л. Цветность водотоков имеет характерные для зимнего периода низкие значения (30-40 градусов), среди озер высокой цветностью вод выделяются озеро №9 (178 град.) и придонный горизонт озера Банное-1 (142 град.), наименьшая цветность наблюдается в придонном горизонте оз. Моло (33 град.) и на озере №11 (37 град.)

*Таблица 4.12 – цветность и перманганатная окисляемость водных объектов дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Перманганатная окисляемость (мг O/л)** | **Цветность (градусы pt-co)** | **Количество проб** | **Место отбора проб** |
| 7,18 – 9,92 | 27 - 44 | 13 | **Водотоки** |
| 4,56 – 20,5 | 33 - 178 | 14 | **Водоемы** |

1. **Оценка связи расхода и минерализации для различных групп рек арктической зоны.**

Чтобы выявить тип зависимости Q(M) и оценить тесноту корреляционной связи по рекам бассейна р. Лены были построены графики зависимости расхода воды (модуля стока) от суммы главных ионов по данным гидрохимических бюллетеней за 1949-1969 годы и рассчитаны коэффициенты корреляции. Графики зависимости представлены на рисунках 5.1 и 5.2   
 График зависимости расхода воды от минерализации для ст. Змеиново (р. Лена) показывает хорошую корреляционную связь между рассматриваемыми показателями, однако связь нельзя назвать линейной. Большая часть точек ложится на прямую линию, но максимальные значения расходов значительно отдалены от вышеописанной зависимости, поэтому для описания связи разумно использовать степенную функцию вида y=f(1/x). Коэффициент корреляции связи высокий и составляет -0,81. Для сопоставления станции с другими постами на р. Лена был построен сводный график (рисунок 5.1).

Рисунок 5.1 – Зависимость модуля стока от минерализации для р. Лена (ст. Змеиново)

Для определения общей зависимости верхнего и среднего течения Лены был построен сводный график Q=f(M) (Рисунок 11). Как видно из сводного графика, для выбранных постов на р. Лена прослеживается обратная корреляционная связь модуля стока с минерализацией. Кривые связи для различных рек относительно схожи на всех фазах водности, однако при высоких модулях стока (более 20 л/c \*км2) минерализация почти не уменьшается при повышении расхода и зависимость практически не отслеживается. Это объясняется пропорциональным увеличением смыва вещества с водосбора при увеличении водности паводка и половодья, а также наличием напорных подземных вод, которые разгружаются в речную сеть даже на пике половодья. Из основных ионов сильнее других с речным стоком связаны гидрокарбонаты, кальций и магний, что можно объяснить наличием последних в подземных водах, состав которых был рассмотрен в главе 4 настоящей работы. Коэффициент корреляции между модулями стока и суммой главных ионов для данной группы рек составляет -0,66 (таблица 5.1)

Таблица 1 - Связь модуля стока с содержанием основных ионов в воде для створов р. Лена выше г. Якутска

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| коэф. корреляции | Ca | Mg | Na+K | HCO3 | SO4 | Cl | Сумма ионов |
| Модуль стока | -0,62 | -0,63 | -0,54 | -0,65 | -0,62 | -0,53 | -0,66 |

Рисунок 5.2 – Зависимость модуля стока от минерализации для 5 створов р. Лена

Для вычисления кривой, характерной для рек бассейна р. Алдан был построен сводный график зависимости модуля стока от минерализации (Рисунок 5.3). Как видно из сводного графика, для рек рассматриваемого района прослеживается хорошая обратная корреляционная связь модуля стока с минерализацией. Так как кривые зависимости по всем створам почти совпадают, можно сделать вывод, что для рек южной части водосбора р. Лены вне зависимости от величины расхода воды связь модуля стока и минерализации будет примерно одинаковой, а корреляционная связь – высокой.

Как и для створов на р. Лене, из основных ионов сильнее других с речным стоком связаны гидрокарбонаты и кальций, однако связь модуля стока с хлорид-ионом отсутствует. Это можно объяснить наличием независимого от расхода воды источника хлоридов, им может быть, как высоконапорный подмерзлотный подземный горизонт, так и антропогенная деятельность. (таблица 5.2) В целом, коэффициент корреляции между модулями стока и суммой главных ионов для данной группы рек составляет -0,61. Таким образом, полученные зависимости могут быть использованы для определения минерализации либо расходов воды для рек со сходными условиями данного региона.

Таблица 5.2 - Связь модуля стока с содержанием основных ионов в воде для створов р. Алдан

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| коэф. корреляции | Ca | Mg | Na+K | HCO3 | SO4 | Cl | Сумма ионов |
| Модуль стока | -0,60 | -0,58 | -0,31 | -0,62 | -0,50 | 0,03 | -0,61 |

Рисунок 5.3 – Зависимость модуля стока от минерализации для 5 створов р. Алдан

Другой задачей при построении кривых зависимости Q(M) было определение средней минерализации и минерализации зимней межени для последующего определения общего ионного и подземного гидрохимического стока рек. За среднюю минерализацию принималось значение соответствующее по кривой Q(M) среднемноголетнему расходу воды для данного створа. Минерализация зимней межени также принималась как число, соответствующее по вышеуказанной кривой минимальному среднемесячному модулю стока 50-% ной обеспеченности, которые были рассчитаны в главе 6 настоящей работы.

В аспекте расчета ионного стока максимальное значение приобретает определение зависимости Q(M) для замыкающего створа (Рисунок 5.4). Помимо основных точек на график нанесены результаты экспедиционных гидрохимических анализов и измерений уровней воды. Несмотря на различие в площади водосбора, полученные точки хорошо ложатся на теоретическую кривую. Общая достоверность аппроксимации кривой относительно высокая.

Рисунок 5.4 – Зависимость модуля стока от минерализации для р. Лена (ст. Кюсюр)

1. **Оценка доли подземного питания и расчет общего гидрохимического стока р. Лены**

6.1. Описание метода.  Подземный сток – определяет гидрохимический режим большинства водотоков, именно поэтому достоверные данные о величине подземного притока позволяют не только точнее рассчитать ионный сток реки, но и установить функциональные зависимости между минерализацией и расходом воды в реке. Иначе говоря, имея сведения о величине подземного притока и гидрохимические параметры подземных вод, мы можем свести сложный процесс формирования химического состава водотоков к элементарной задаче на разбавление.   
 Для расчета подземной составляющей речного стока использовался метод расчленения гидрографа. Как известно, средний расход воды в створе реки за некоторый период межени Тможно представить в виде:, где - средний расход, сформированный за счет запасов воды в русловой сети; и - средние расходы воды, обусловленные притоком подземных и дождевых вод за период Т. Нашей задачей было определить величину , имея данные о гидрологических наблюдениях за многолетний период.   
 В основе метода лежит предположение, что из многолетнего ряда наблюдений найдется определенное количество лет низкой водности , в которые величины и будут несоизмеримо ниже величины . В таком случае можно утверждать, что мы наблюдаем на изучаемом створе прохождение подземного стока в чистом виде. Для текущей работы величины были назначены равными величинам минимального 30-суточного стока различной обеспеченности: . Вышеуказанные расходы 50%-ной и 95%-ной обеспеченности и были приняты к расчету в рамках текущей работы.   
 Для расчета подземного стока использовались данные Якутского УГМС по наблюдению за расходами воды за весь период наблюдений (1885-2000 гг.). Для анализа принимались ряды длиной не менее 20 лет. Для большинства рек данные были представлены минимальным 30-суточным стоком, для рек с отсутствием данных о суточном стоке брались данные о стоке за месяц наименьшей водности. Расчет производился по двум рядам: ряд летнего минимального стока (лучше описывает подземный сток для зон недостаточного увлажнения) и ряд зимнего минимального стока (для зон достаточного и избыточного увлажнения). (Методические рекомендации…1999)   
 Для определения значений применялись функции обеспеченности. В силу коротких рядов наблюдений на большей части рек, а также высокой ассиметричности рядов данных, значения эмпирической обеспеченности не давали удовлетворительного результата. Поэтому использовались биноминальные кривые обеспеченности Пирсона 3 типа (для соотношений Cs/Cv > 2) и интегральные кривые обеспеченности С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля (для любых соотношений Cs/Cv). (СП 33-101-2003). Коэффициенты вариации и ассиметрии определялись методом моментов по формулам:

После подготовки рядов данных выполнялся расчет кривых обеспеченности по следующему алгоритму (все расчеты для летних и зимних рядов данных выполняются отдельно):

1) Производим первоначальную статистическую обработку ряда данных: ранжируем, рассчитываем среднее значение ряда, находим величины cV и сS, а также отношение cS/cV.  
2) Находим эмпирическую обеспеченность для значений нашего ряда по формуле:  
3) Наносим точки эмпирической обеспеченности на клетчатку вероятностей в модульных коэффициентах.  
4) Построение кривых обеспеченности Пирсона 3 типа при различных отношениях *Cs* к *Cv*, и подбор такого отношения, при котором теоретическая кривая наилучшим образом соответствует эмпирическим точкам.   
5) Построение теоретической кривой Крицкого-Менкеля по отношению Cs к Cv, выбранному для кривой Пирсона 3 типа. Подбор отношения Cs к Cv для кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля в принципе должен производиться по приведенной выше схеме подбора отношения для кривых Пирсона.   
6) Решение о использовании той или иной кривой выбирается на основе визуального сопоставления кривых обеспеченности теоретических законов распределения с эмпирической кривой.   
7) По выбранной кривой снимаем значения обеспеченности. В данном случае нас интересуют значения 50-% и 95-% обеспеченности.

В целях сокращения времени на расчеты большая часть кривых была построена по упрощенному алгоритму:   
1) Вносим в электронную базу все возможные варианты модульных коэффициентов, которые соответствуют всем возможным вариантам кривых Пирсона 3 типа и кривых С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля. В данном случае в базу вносились модульные коэффициенты, соответствующие 25%, 50%, 75%, 90%, 95%, 97% 99% 99,9% обеспеченностям.   
2) Производим первоначальную статистическую обработку ряда данных: ранжируем, рассчитываем среднее значение ряда, находим величины cV и сS, а также отношение cS/cV.  
3) Находим эмпирическую обеспеченность для значений нашего ряда по формуле:

Где mi – порядковые номер члена ранжированного ряда, n – длина ряда.  
4) Выбирается несколько эмпирических точек. Для большинства кривых выбиралось 6 точек, чья эмпирическая обеспеченность близка к 25%, 50%, 75%, 90%, 95% и 97% соответственно. (Выбранные обеспеченности должны иметь аналог из пункта 1)  
5) Для выбранных эмпирических точек производится расчет коэффициентов Кp (1) для сопоставления с кривыми Крицкого-Менкеля и коэффициентов tp (2) для сопоставления с кривыми Пирсона 3 типа.

Где qi – расход выбранной эмпирической точки, mx – среднее значение ряда

6) Сверяем полученные модульные коэффициенты с коэффициентами, которые мы внесли в базу в пункте 1. Выбираем кривую для которой различие в модульных коэффициентах будет минимальное.   
7) По формулам (1) и (2) получаем qi из модульных коэффициентов обратным способом, в данном случае нас интересуют значения 50-% и 95-% обеспеченности.   
8) В идеальном случае у нас должно получиться две кривых (Пирсона и Крицкого-Менкеля), которые хорошо описывают наши эмпирические точки. Из двух кривых стоит выбрать ту, которая лучше описывает остальные, не задействованные точки ряда. При расчете следующих кривых этот же алгоритм стоит повторить, начав с пункта 2.  
9) После расчета расходов по всем створам производился их пересчет в более удобные для анализа величины. Значения подземного притока воды в реку (м3/с) пересчитывались в величины модуля подземного притока (л/км2\*с) и в коэффициенты подземного питания. Фрагмент итоговой таблицы приведен ниже. (таблица 6.1)

*Таблица 6.1 – Итоговая таблица расчета модулей подземного стока (фрагмент)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Створ | Сить  (Козлиха) | Кубена (Савинская) | Мехреньга (Александрово) | Волошка (Волошка) |
| Период | Зима | Зима | Зима | Зима |
| Мин 30-сут Расход 50% обесп | 1,51 | 6,82 | 10,39 | 2,56 |
| Мин 30-сут Расход 95% обесп | 0,46 | 4,17 | 8,81 | 1,02 |
| Тип кривой | КМ | П3 | КМ | КМ |
| Параметры кривой | cS=3cV; cV=0,73 | cS=1,16; cS=3,41cV | cS=3cV;  cV=0,10 | cS=4cV; cV=0,68 |
| Площадь водосбора | 1320 | 4860 | 4055 | 3520 |
| Q среднемног | 14,5 | 46,3 | 34,6 | 32,3 |
| Документ | Расчет 4 | Расчет 4 | Расчет2 | Расчет 5 |
| Модуль подземного стока по 50% | 0,31 | 1,40 | 2,56 | 0,73 |
| Модуль подземного стока по 95% | 0,09 | 0,86 | 2,17 | 0,29 |
| Коэф подземного питания по 50% | 0,10 | 0,15 | 0,30 | 0,08 |
| Коэф подземного питания по 95% | 0,03 | 0,09 | 0,25 | 0,03 |

По вышеуказанному методу был посчитан подземный сток по 21 створу в бассейне р. Лены. Результаты расчетов по различным рядам данных приведены ниже.

6.2. Результаты расчета подземного притока методом расчленения гидрографа.

По результатам расчетов, можно выделить несколько групп рек по типу подземного питания. Наибольшая доля подземного питания (23-25%) наблюдается на створах, расположенных в верховье р. Лены, где прерывистый характер мерзлоты не мешает грунтовому притоку в реки. Реки южной части водосбора имеют не самые низкие модули подземного притока (до 0,7 л/с \*км2 на р. Алдан), однако значительное количество осадков в горных странах на юге водосбора (до 800 мм) обуславливает меньшую долю подземного стока в питании реки. Наименьший коэффициент подземного питания у р. Олекма (3%), что можно объяснить отрицательным влиянием карстовых массивов во время зимней межени. В целом, водосбор р. Лена (по створу Кюсюр) имеет довольно низкие показатели модуля (0,3 л/с \*км2) и коэффициента (8%) подземного питания. Результаты расчетов приведены в таблице 6.2

*Таблица 6.2 – Итоговая таблица расчета подземного притока методом расчленения гидрографа (Модули стока указаны в л/c\*км2)*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Река** | **Створ** | **Площадь водосбора (км2)** | **Модуль стока** | **Модуль подземного стока (50%)** | **Модуль подземного стока (95%)** | **Коэф подземного питания (50%)** | **Коэф подземного питания (95%)** |
| Лена | Столб | 2460000 | 6,25 | 0,68 | 0,45 | **0,11** | 0,07 |
| Лена | Кюсюр | 2430000 | 6,90 | 0,55 | 0,30 | **0,08** | 0,04 |
| Лена | Табага | 897000 | 7,81 | 0,97 | 0,74 | **0,12** | 0,09 |
| Лена | Солянка | 770000 | 8,82 | 1,18 | 0,83 | **0,13** | 0,09 |
| Лена | Крестовское | 440000 | 9,47 | 1,50 | 1,01 | **0,16** | 0,11 |
| Лена | Змеиново | 140000 | 8,02 | 1,98 | 1,49 | **0,25** | 0,19 |
| Лена | Грузновка | 41700 | 4,53 | 1,14 | 0,54 | **0,25** | 0,12 |
| Лена | Качуг | 17400 | 5,17 | 1,24 | 0,79 | **0,24** | 0,15 |
| Алдан | Верхоянский перевоз | 696000 | 7,54 | 0,40 | 0,24 | **0,05** | 0,03 |
| Алдан | Охотский перевоз | 514000 | 8,26 | 0,49 | 0,32 | **0,06** | 0,04 |
| Алдан | Усть-Миль | 269000 | 10,18 | 0,66 | 0,43 | **0,06** | 0,04 |
| Алдан | Угино | 102000 | 11,17 | 0,91 | 0,53 | **0,08** | 0,05 |
| Алдан | Томмот | 49500 | 10,63 | 1,24 | 0,70 | **0,12** | 0,07 |
| Алдан | Суон-Тит | 18500 | 11,62 | 0,78 | 0,20 | **0,07** | 0,02 |
| Амга | Терут | 65400 | 2,92 | 0,28 | 0,10 | **0,10** | 0,04 |
| Амга | Амга | 56800 | 3,24 | 0,29 | 0,17 | **0,09** | 0,05 |
| Амга | Буяга | 23900 | 5,10 | 0,59 | 0,25 | **0,12** | 0,05 |
| Кута | Ручей | 11200 | 5,45 | 1,23 | 0,77 | **0,23** | 0,14 |
| Витим | Бодайбо | 186000 | 8,40 | 0,43 | 0,23 | **0,05** | 0,03 |
| Чара | Токко | 62500 | 10,22 | 0,65 | 0,45 | **0,06** | 0,04 |
| Олекма | Куду-Кел | 115000 | 8,88 | 0,24 | 0,10 | **0,03** | 0,01 |

**6.3 Оценка доли подземного питания рассматриваемых рек на основе внутригодовой изменчивости гидрохимических показателей.**

Для оценки подземного стока выбранных рек был использован метод смешения, который определяет величину грунтового стока в зависимости от гидрохимических показателей поверхностных и подземных вод.   
***Qгр = Qр·Cр/Сгр* (1)**Где ***Qгр***– величина подземного притока воды в реку, ***Qр*** – расход воды в створе, а***Cр*** и***Сгр***– концентрации какого-либо вещества в поверхностных и подземных водах***.***   
 В качестве параметра ***Cр*** бралась минерализация, соответствующая среднемноголетнему расходу по эмпирической кривой Q(M) для соответствующей реки (см. Рисунок 5.2).   
 В качестве параметра ***Сгр*** принималось значение минерализации, соответствующее минимальному среднемесячному расходу 50-% обеспеченности по эмпирической кривой Q(M) за рассматриваемый период.   
 В качестве параметра ***Qр*** принимался среднемноголетний расход, который определялся по данным водного кадастра. Для удобства вместо величин ***Qгр Qр***    
использовались соответствующие величины модулей ***Mгр Mр***

*Таблица 6.3 – Итоговая таблица расчета подземного притока методом смешения (Модули стока указаны в л/c\*км2)*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Река** | **Створ** | ***Mр* (л/c\* км2)** | ***Cр* (мг/л)** | ***Сгр* (мг/л)** | ***Mгр*  (л/c\* км2)** | **Коэффициент подземного питания** |
| Лена | Качуг | 5,17 | 287 | 558 | 2,66 | 0,51 |
| Лена | Змеиново | 8,02 | 262 | 659 | 3,20 | 0,40 |
| Лена | Крестовское | 9,47 | 157 | 631 | 2,35 | 0,25 |
| Лена | Солянка | 8,82 | 176 | 562 | 2,76 | 0,31 |
| Лена | Табага | 7,81 | 181 | 549 | 2,58 | 0,33 |
| Лена | Кюсюр | 6,90 | 105 | 300 | 2,42 | 0,35 |
| Витим | Бодайбо | 8,40 | 33,0 | 92,5 | 3,00 | 0,36 |
| Олекма | Куду-Кел | 8,88 | 54,9 | 381 | 1,28 | 0,14 |
| Алдан | Томмот | 10,63 | 91,1 | 198 | 4,88 | 0,46 |
| Алдан | Усть-Миль | 10,18 | 66,2 | 210 | 3,21 | 0,31 |
| Алдан | Охотский перевоз | 8,26 | 78,0 | 194 | 3,33 | 0,40 |
| Алдан | Верхоянский перевоз | 7,54 | 92,1 | 199 | 3,49 | 0,46 |
| Амга | Амга | 3,24 | 219 | 427 | 1,66 | 0,51 |

**6.4. Результаты оценки по различным рядам данных.**

После расчета подземного стока было произведено сравнение полученных результатов с картой естественных ресурсов подземных вод СССР. (таблица 6.4)

*Таблица 6.4 – Итоговая таблица расчета подземного притока различными методами (Модули стока указаны в л/c\*км2)*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель\река | Р. Лена (Кюсюр) | Р. Лена среднее течение | Р. Лена верхнее течение | Р. Алдан | Р. Амга | Р. Сев. Двина |
| Модуль подземного притока (методом расчленения гидрографа) | 0,55 | 0,97 – 1,50 | 1,14 – 1,98 | 0,40 – 1,24 | 0,28 – 0,59 | 1,97 |
| Модуль подземного притока (методом смешения) | 2,42 | 2,35 – 2,76 | 2,66 – 3,20 | 3,21 – 4,88 | 1,66 | 3,80 |
| Модуль подземного притока (По карте Естественных ресурсов подземных вод СССР) | 0,5 – 1,0 | 0,5 – 1,0 | 1,0 – 3,0 | 1,0 -3,0 | 0,1 – 1,0 | 2 – 3 |
| Коэффициент подземного питания (методом расчленения гидрографа) | 0,08 | 0,12 – 0,16 | 0,24 – 0,25 | 0,05 – 0,12 | 0,09 – 0,12 | 0,21 |
| Коэффициент подземного питания (методом смешения) | 0,35 | 0,25 – 0,33 | 0,40 – 0,51 | 0,31 – 0,46 | 0,51 | 0,44 |
| Коэффициент подземного питания (По карте Естественных ресурсов подземных вод СССР) | Менее 0,1 | 0,1 – 0,2 | 0,3 – 0,5 | 0,1 – 0,3 | 0,1 – 0,2 | 0,2 – 0,3 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Река** | **Створ** | Общий гидрохимический сток тонн/км2 \*год | Гидрохимический сток подземного происхождения тонн/км2 \*год |
| Лена | Качуг | 46,8 | 21,7 |
| Лена | Змеиново | 66,4 | 41,2 |
| Лена | Крестовское | 46,9 | 29,8 |
| Лена | Солянка | 48,9 | 20,9 |
| Лена | Табага | 44,6 | 16,8 |
| **Лена** | **Кюсюр** | **22,9** | **5,2** |
| Витим | Бодайбо | 8,7 | 1,3 |
| Олекма | Куду-Кел | 15,4 | 2,9 |
| Алдан | Томмот | 30,5 | 7,8 |
| Алдан | Усть-Миль | 21,3 | 4,4 |
| Алдан | Охотский перевоз | 20,3 | 3,0 |
| Алдан | Верхоянский перевоз | 21,9 | 2,5 |
| Амга | Амга | 22,4 | 3,9 |
| **Сев Двина** | **Усть-Пинега** | **54,8** | **23,9** |

**6.5. Расчет гидрохимического стока р. Лены**На основе рассчитанных значений минерализации установлены показатели ионного стока по замыкающим створам исследуемых рек. Показатель модуля ионного стока Северной Двины варьирует в интервале - 22,9, реки Лены - 54,8. Также установлены ориентировочные значения гидрохимического стока подземного происхождения. Для р. Лена эти показатели составили и 5,2 (23%) тонн/км2 в год. Для р. Сев. Двины удельный гидрохимический сток и доля подземного стока в нем оказались выше и составили 23,9 (44%)тонн/км2 в год соответственно. (таблица 6.5)   
Таблица 6.5 ионный сток р. Лены и р. Сев. Двины

**Выводы**

1. На основе анализа литературных источников и обобщения кадастровых и экспедиционных данных Определен ряд факторов, формирующих химический состав природных вод территории: неравномерное увлажнение, наличие многолетнемерзлых пород (низкая дренируемость почво-грунтов, наличие дифференцированных по положению в мерзлоте подземных вод, перемерзание первого от поверхности водоносного горизонта), консервация части зимнего стока в виде наледей на водосборе.
2. По результатам анализа информационной базы Якутского УГМС за весь период наблюдений построены кривые зависимостей расхода от минерализации Q(M). По выявленным зависимостям и известным значениям среднемноголетнего и минимального среднемесячного расходов воды, установлены соответствующие характерные значения средней минерализации. На основе рассчитанных значений минерализации установлены показатели ионного стока по замыкающим створам исследуемых рек. Показатель модуля ионного стока Северной Двины варьирует в интервале - 22,9, реки Лены - 54,8.
3. На основе анализа кривых обеспеченностей и обобщения гидрохимических данных произведена оценка доли подземного питания исследуемых рек и произведен расчет грунтовой составляющей в гидрохимическом стоке. 6. Установлены ориентировочные значения общего ионного стока и гидрохимического стока подземного происхождения. Для р. Лена эти показатели составили и 5,2 (23%) тонн/км2 в год. Объем ионного стока по этим оценкам составит порядка 55,6 млн тонн. Для р. Сев. Двины удельный гидрохимический сток и доля подземного стока в нем оказались выше и составили и 23,9 (44%)тонн/км2 в год соответственно.
4. Установлены ориентировочные значения модулей подземного стока исследуемых рек различными методами:   
   а) Модули установленные по методу смешения дают правдоподобные результаты только для створов в верховье р. Лены (2,7 – 3,2 л/км2\*с), для всех остальных данные получаются сильно завышенными.   
   б) Наиболее достоверные данные получены по методу расчленения гидрографа (по 50%-ным расходам). Для створов в верховье р. Лены значения варьируют от 2,4 до 4,2 л/км2\*с, для створов в среднем течении р. Лены – от 0,9 до 1,5 л/км2\*с, на р. Алдан значения несколько ниже литературных - от 0,4 до 1,2 л/км2\*с. Расчет по 95%-ным расходам дает сильно заниженные результаты для всех исследуемых створов.
5. На основе проведенных современных экспедиционных исследований 2004-2016 на Оленекской, Туматской, Бык и трофим определены основные гидрологические х-ки (расход воды, расход наносов) и гидрохимические х-ки (минерализация, ионный состав, биогенные элементы, растворенный кислород, перманганатная окисляемость.) в период зимней межени и на спаде половодья. Полученные данные по расходам, которые варьировали в зимний период (), а в летний период (), а также по содержанию растворенного кислорода() существенно дополнили имеющиеся сведения о гидрохимическом состоянии устьевой зоны р. Лены.

**Список литературы**

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеоиздат, 1953. 296 с.  
2. Алексеев В.Р., Фурман М.Ш. Наледи и сток. Новосибирск: Наука, 1976. 117 с.  
3. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Куксина Л.В., Четверова А.А. Структура водотоков в дельте Лены и её влияние на процессы трансформации речного стока. // География и природные ресурсы, 2014. № 1. С. 91–99.  
4. Анисимова Н.П. Формирование химического состава подземных вод таликов на примере Центральной Якутии . М.: Наука, 1971. — 196с.

5. Антонов В.С. Устьевая область реки Лены (гидрологический очерк). Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 107 с.

6. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихомирова Н.В. Геохимия окружающей среды М., Недра, 1976. 239 с.  
7. Воронков П.П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1970. 189с.  
8. Воронков П.П. Основные черты формирования режима ионного состава поверхностных вод в условиях Севера. Труды ГГИ. 1951. Вып. 33. с. 50—55.  
9. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии M.: Наука 1983. 160с  
10. Государственный водный кадастр: гидрологические ежегодники Якутского УГМС 1949-1969 гг.  
11. Государственный водный кадастр: гидрологические ежегодники Северного УГМС 1960-1966 гг.  
12. Гвоздецкий Н.А. Карст. М., Мысль, 1981. 216с.  
13. Гидрогеология СССР. М., Недра, 1977.  
14. Горбунова К.А., Максимович Н.Г. Типы обстановок карстообразования на территории СССР. Инженерная геология.-1988.№4. С.93-97.  
15. Ильина Л. Л., Грахов А. К. Реки Севера Л., Гидрометеоиздат, 1987.  
16. Калинин Г.П., Тютенцева М.И. Пространственно-временное распределение соотношений подземного и общего речного стока. Формирование ресурсов вод суши. М., Наука. 1972. С. 44-53.  
17. [Карта естественных ресурсов подземных вод СССР (подземного стока зоны интенсивного водообмена)](http://www.hge.spbu.ru/mapgis/subekt/obzorniye/ig_atlas/est_res.pdf). Масштаб 1:7 500 000. Главное управление геодезии и картографии СССР. М., 1982.  
18. Максимович Г. А. Тектонические закономерности распределения карста на территории СССР//Общие вопросы карстоведения. М. Изд-во АН СССР, 1962. С. 40- 54.  
19. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / Шепелёв В.В., Толстихин О.Н., Пигузова В.М. и др. – Новосибирск: Наука, 1984. – 190 с.  
20. Методические рекомендации по оценке подземного притока в реки. Л., Гидрометеоиздат. 1991  
21. Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач. М. Стройиздат, 1973.  
22. Почвенно-геологические условия нечерноземья». Е.М.Сергеев. М., МГУ, 1984.  
23. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках Л:.Гидрометеоиздат,1975. — 264 с  
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район. Монография. - Гидрометеоиздат, 1967 - 649 с  
25. [Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный Край.](http://www.twirpx.com/file/731150/) Л., Гидрометеоиздат [1972.](http://www.twirpx.com/file/731150/)  
26. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши Л. Гидрометеоиздат 1977  
27. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик (СП 33-101-2003). Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. М., 2004.  
28. Скакальский Б.Г. Основные географические и гидрохимические характеристики местного стока различных природных зон Европейской территории СССР. Труды ГГИ, 1966, вып. 137, с. 125-178.  
29. Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. Под ред. Х. Кассенс, А.П. Лисицына, Й. Тиде, Е.И. Поляковой, Л.А. Тимохова. М.: МГУ, 2009, с. 278-292.  
30. Соколовский Д.Л. Речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.  
31. Фотиев, Сергей Михайлович. Подземные воды и мерзлые породы Южно-Якутского угленосного бассейна [Текст] / Гос. ком. по делам строительства СССР "Госстрой СССР". Производ. и науч.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в строительстве. - Москва : Наука, 1965. - 230 с.  
32. Фотиев С.М. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОГЕННОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ (КЛАССИФИКАЦИЯ) //*Криосфера Земли*, 2013, т. XVII, № 2, с. 41–59

**Список используемых Интернет-ресурсов**

33. <http://www.hge.spbu.ru/> - Институт гэоэкологии РАН, база знаний  
34. <http://www.vsegei.ru/ru/> - ВСЕГЕИ, база данных  
35. <http://www.ipcc.ch/> - Межправительственная климатическая комиссия  
36. <http://textual.ru/gvr/> - Государственный водный реестр  
37. <http://www.pogodaiklimat.ru/> - Сведения о климате планеты  
38. http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu - База гидрометеорологических данных  
39. <http://www.grdc.sr.unh.edu/> - База гидрометеорологических данных

**Приложение А. Изменение среднего и минимального стока р. Сев Двина и р. Лена за весь период наблюдений**

*Рисунок А1* – среднегодовой сток р. Лена и р. Сев Двина за весь период наблюдений (линейный тренд обозначен пунктиром)

*Рисунок А2* – минимальный сток р. Лена и р. Сев Двина за весь период наблюдений (линейный тренд обозначен пунктиром)

**Приложение Б. Ионный состав вод р. Лена в различные фазы водного режима**

**Приложение В. Гидрохимические параметры, измеренные в ходе экспедиции Лена-2016**

*Таблица В1 – рН и минерализация природных вод дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **рН** | **Eh μS/см** | **Минерализация рассчитанная мг/л** | **Минерализация (сумма ионов) мг/л** | **Место отбора проб** |
|
|
| 7,1 | 581 | 306 | 363 | Главное русло, створ №1; 0,2h |
| 7,44 | 494 | 260 | 368 | Главное русло, створ №1; 0,8h |
| 7,82 | 519 | 273 | 356 | Главное русло, створ №2; 0,2h |
| 7,73 | 524 | 276 | 311 | Главное русло, створ №2; 0,8h |
| 7,81 | 507 | 267 | 324 | Главное русло, створ №3; 0,2h |
| 7,84 | 502 | 264 | 314 | Главное русло, створ №3; 0,8h |
| 7,72 | 495 | 261 | 320 | Оленекская протока; 0,2h |
| 7,7 | 506 | 266 | 327 | Оленекская протока; 0,8h |
| 7,42 | 185 | 97 | 113 | Озеро Банное-2; 0,2h |
| 7,37 | 162 | 85 | 88 | Озеро Банное-2; 0,8h |
| 7,32 | 140 | 74 | 102 | Озеро Моло; 0,2h |
| 7,38 | 142 | 75 | 93 | Озеро Моло; 0,8h |
| 7,9 | 144 | 76 | 95 | Озеро №10; 0,2h |
| 7,04 | 143 | 75 | 99 | Озеро №10; 0,8h |
| 9,46 | 232 | 122 | 173 | Озеро Банное-3; 0,2h |
| 8,3 | 225 | 118 | 161 | Озеро Банное-3; 0,8h |
| 7,39 | 168 | 88 | 351 | Озеро №9 |
| 7,01 | 277 | 146 | 200 | Озеро Банное-1; 0,2h |
| 7,27 | 277 | 146 | 198 | Озеро Банное-1; 0,8h |
| 7,33 | 152 | 80 | 95 | Озеро Рыба; 0,2h |
| - | - | - | 103 | Озеро Рыба; 0,8h |
| 6,98 | 131 | 69 | 92 | Озеро №11 |
| 7,72 | 107 | 56 | 58 | Серый лед, главное русло |
| 6,6 | 7 | 4 | - | Снег, главное русло |
| 7,27 | 47 | 25 | - | Пов лед, Оленекская |
| 6,39 | 6 | 3 | - | Прозрачный лед, Олен. |
| 7,19 | 17 | 9 | - | Снег, Оленекская |
| 5,05 | 47 | 25 | - | Снег с песком, Банное-3 |
| 6,73 | 14 | 7 | - | Снег, Банное-3 |
| 7,68 | 3 | 2 | - | Моло лед |
| 7,07 | 13 | 7 | - | Моло снег |
| 6,95 | 238 | 125 | 179 | Банное-3, "донные отложения" |
| - | - | - | 333 | Таллик-1 |
| - | - | - | 828 | Таллик-2 |
| - | - | - | 412 | Таллик-3 |

*Рисунок В1 – Связь электропроводности и суммы основных ионов*

*Таблица В2 – рН и минерализация природных вод дельты р. Лены в летний период*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **рН** | **Eh μS/см** | **Минерализация рассчитанная мг/л** | **Минерализация (сумма ионов) мг/л** | **Место отбора пробы** |
| 7,33 | 82 | 43 | - | оз.Рыба |
| 6,04 | 70 | 37 | - | оз.Северо-Восточное |
| 5,16 | 65 | 34 | - | оз.Шеллоу-2 |
| 6,7 | 62 | 33 | - | оз.№10 |
| 7,64 | 54 | 28 | - | оз.№9 |
| 7,67 | 43 | 23 | - | оз.№11 |
| 7,72 | 67 | 35 | - | оз.Моло |
| 7,72 | 37 | 19 | - | оз.Курунгнах |
| 8 | 118 | 62 | - | оз.Курунгнах-2 |
| 7,55 | 85 | 45 | - | оз.Банное-2 |
| 7,59 | 114 | 60 | - | оз.Южное |
| 8,06 | 113 | 59 | - | Трофимовская прот., Прав. берег |
| 7,74 | 103 | 54 | - | Трофимовская прот., Сред. Верт. |
| 7,98 | 110 | 58 | - | Трофимовская прот., Лев. Берег |
| 7,99 | 103 | 54 | - | Быковская прот., верт №1 |
| 7,84 | 103 | 54 | - | Быковская прот., верт №2 |
| 7,59 | 104 | 55 | - | Быковская прот., верт №3 |
| 7,81 | 113 | 59 | - | Оленекск. Прот, в ниж. течении, верт №1 |
| - | 113 | 59 | - | Оленекск. Прот, в ниж. течении, верт №2 |
| 7,85 | 113 | 59 | - | Оленекск. Прот, в ниж. течении, верт №3 |
| 7,83 | 120 | 63 | - | Оленекск. Прот, Гусинка, верт №1 |
| 7,84 | 120 | 63 | - | Оленекск. Прот, Гусинка, верт №2 |
| 7,94 | 119 | 63 | - | Оленекск. Прот, Гусинка, верт №3 |
| 7,85 | 125 | 66 | - | Оленекск. Прот, Чай-Тумус, верт №1 |
| 7,91 | 125 | 66 | - | Оленекск. Прот, Чай-Тумус, верт №2 |
| 7,8 | 124 | 65 | - | Оленекск. Прот, Чай-Тумус, верт №3 |
| 7,78 | 118 | 62 | - | Оленекск. Прот, Главный г/с, верт №1 |
| 7,67 | 130 | 68 | - | Оленекск. Прот, Главный г/с, верт №3 |
| 7,56 | 132 | 69 | - | Оленекск. Прот, Главный г/с, верт №4 |
| 8,01 | 131 | 69 | - | Туматская прот., основной г/с, верт №1 |
| 7,77 | 133 | 70 | - | Туматская прот., основной г/с, верт №2 |
| 7,62 | 133 | 70 | - | Туматская прот., основной г/с, верт №3 |
| 7,58 | 133 | 70 | - | Туматская прот., основной г/с, верт №4 |

*Таблица В3 – содержание катионов в речной воде в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора \компонент** |  | **Na** | | **Ca** | | **Mg** | |
| горизонт | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Главное русло** | 0,2 h | 53,6 | 2,33 | 39,4 | 1,97 | 11,5 | 0,94 |
| 0,8 h | 51,5 | 2,24 | 39,0 | 1,95 | 12,4 | 1,02 |
| **Главное русло 2** | 0,2 h | 51,7 | 2,25 | 38,9 | 1,94 | 11,3 | 0,93 |
| 0,8 h | 46,8 | 2,04 | 34,5 | 1,72 | 10,2 | 0,84 |
| **Главное русло 3** | 0,2 h | 47,5 | 2,06 | 35,4 | 1,77 | 11,1 | 0,91 |
| 0,8 h | 47,2 | 2,05 | 34,8 | 1,74 | 10,3 | 0,85 |
| **Оленекская протока** | 0,2 h | 44,6 | 1,94 | 37,6 | 1,88 | 11,0 | 0,90 |
| 0,8 h | 44,9 | 1,95 | 37,0 | 1,85 | 11,5 | 0,95 |

*Таблица В4 – Содержание анионов в речной воде в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора \компонент** |  | **Cl** | | **SO4** | | **HCO3 рассчит** | |
| горизонт | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Главное русло** | 0,2 h | 71,9 | 2,03 | 45,0 | 0,94 | 136 | 2,22 |
| 0,8 h | 70,1 | 1,98 | 44,0 | 0,92 | 144 | 2,35 |
| **Главное русло 2** | 0,2 h | 67,4 | 1,90 | 42,6 | 0,89 | 138 | 2,27 |
| 0,8 h | 66,2 | 1,87 | 42,0 | 0,87 | 107 | 1,75 |
| **Главное русло 3** | 0,2 h | 65,9 | 1,86 | 41,8 | 0,87 | 117 | 1,91 |
| 0,8 h | 69,1 | 1,95 | 43,5 | 0,91 | 103 | 1,69 |
| **Оленекская протока** | 0,2 h | 66,0 | 1,86 | 43,8 | 0,91 | 112 | 1,83 |
| 0,8 h | 61,1 | 1,72 | 41,6 | 0,87 | 125 | 2,05 |

*Таблица В5 – содержание катионов в озерной воде в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора \компонент** |  | **Na** | | **Ca** | | **Mg** | |
| горизонт | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Озеро Банное-2** | 0,2 h | 5,8 | 0,25 | 19,7 | 0,98 | 5,5 | 0,45 |
| 0,8 h | 4,2 | 0,18 | 15,1 | 0,75 | 4,1 | 0,34 |
| **Озеро Моло** | 0,2 h | 1,1 | 0,05 | 16,1 | 0,81 | 7,8 | 0,64 |
| 0,8 h | 1,2 | 0,05 | 14,3 | 0,71 | 6,8 | 0,56 |
| **Озеро №10** | 0,2 h | 2,2 | 0,10 | 15,1 | 0,75 | 6,8 | 0,56 |
| 0,8 h | 2,2 | 0,10 | 15,7 | 0,78 | 7,2 | 0,59 |
| **Озеро Банное-3** | 0,2 h | 4,6 | 0,20 | 27,5 | 1,37 | 9,6 | 0,79 |
| 0,8 h | 4,2 | 0,18 | 26,5 | 1,32 | 9,5 | 0,79 |
| **Озеро №9** | 0,5 h | 8,3 | 0,36 | 47,3 | 2,36 | 23,1 | 1,90 |
| **Озеро Банное-1** | 0,2 h | 7,4 | 0,32 | 30,1 | 1,50 | 12,0 | 0,99 |
| 0,8 h | 7,8 | 0,34 | 30,4 | 1,52 | 11,2 | 0,92 |
| **Озеро Рыба** | 0,2 h | 3,4 | 0,15 | 14,3 | 0,71 | 6,7 | 0,55 |
| 0,8 h | 3,5 | 0,15 | 14,7 | 0,73 | 6,8 | 0,56 |
| **Озеро №11** | 0,5 h | 2,3 | 0,10 | 13,6 | 0,68 | 7,0 | 0,58 |

*Таблица В6 – содержание анионов в озерной воде в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора \компонент** |  | **Cl** | | **SO4** | | **HCO3 рассчит** | |
| горизонт | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Озеро Банное-2** | 0,2 h | 19,5 | 0,55 | 18,1 | 0,38 | 41,3 | 0,68 |
| 0,8 h | 18,3 | 0,51 | 16,7 | 0,35 | 24,4 | 0,40 |
| **Озеро Моло** | 0,2 h | 15,8 | 0,44 | 13,6 | 0,28 | 42,2 | 0,69 |
| 0,8 h | 15,8 | 0,45 | 13,7 | 0,28 | 34,9 | 0,57 |
| **Озеро №10** | 0,2 h | 16,9 | 0,48 | 14,4 | 0,30 | 33,7 | 0,55 |
| 0,8 h | 16,9 | 0,48 | 14,3 | 0,30 | 37,2 | 0,61 |
| **Озеро Банное-3** | 0,2 h | 18,4 | 0,52 | 17,1 | 0,35 | 89,3 | 1,46 |
| 0,8 h | 18,3 | 0,52 | 16,9 | 0,35 | 80,2 | 1,31 |
| **Озеро №9** | 0,5 h | 22,5 | 0,64 | 14,6 | 0,30 | 226,2 | 3,71 |
| **Озеро Банное-1** | 0,2 h | 20,9 | 0,59 | 17,0 | 0,35 | 107,7 | 1,77 |
| 0,8 h | 21,2 | 0,60 | 17,0 | 0,35 | 106,5 | 1,75 |
| **Озеро Рыба** | 0,2 h | 17,5 | 0,49 | 15,0 | 0,31 | 32,4 | 0,53 |
| 0,8 h | 17,3 | 0,49 | 14,7 | 0,31 | 39,3 | 0,64 |
| **Озеро №11** | 0,5 h | 16,6 | 0,47 | 14,2 | 0,30 | 31,5 | 0,52 |

*Таблица В7 – содержание основных ионов в водах подрусловых таликов в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Na** | | **Ca** | | **Mg** | |
|  | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Таллик 1** | 24,2 | 1,05 | 48,2 | 2,40 | 12,3 | 1,02 |
| **Таллик 2** | 45,1 | 1,96 | 104,1 | 5,20 | 31,4 | 2,58 |
| **Таллик 3** | 35,2 | 1,53 | 38,2 | 1,91 | 11,3 | 0,93 |
|  | **Cl** | | **SO4** | | **HCO3** | |
|  | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв | мг/л | мг-экв |
| **Таллик 1** | 47,0 | 1,33 | 39,0 | 0,81 | 152 | 2,5 |
| **Таллик 2** | 46,6 | 1,32 | 16,2 | 0,34 | 553 | 9,1 |
| **Таллик 3** | 35,0 | 0,99 | 19,3 | 0,40 | 241 | 4,0 |

*Таблица В8 – содержание кислорода в водных объектах дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Концентрация O2 мг/л** | **Концентрация O2 (% нас при 4**°C**)** | **Горизонт** | **Место отбора проб** |
| 15,17 | 116% | 0,2h | Озеро Банное-2; 0,2h |
| 10,77 | 82% | 0,8h | Озеро Банное-2; 0,8h |
| 18,19 | 139% | 0,2h | Озеро Моло; 0,2h |
| 17,66 | 135% | 0,8h | Озеро Моло; 0,8h |
| 10,92 | 83% | 0,2h | Озеро №10; 0,2h |
| 12,04 | 92% | 0,8h | Озеро №10; 0,8h |
| 12,08 | 92% | 0,2h | Озеро Банное-3; 0,2h |
| 17,13 | 130% | 0,8h | Озеро Банное-3; 0,8h |
| 11,32 | 86% | 0,5h | Озеро №9 |
| 10,61 | 81% | 0,2h | Озеро Банное-1; 0,2h |
| 7,92 | 60% | 0,8h | Озеро Банное-1; 0,8h |
| 11,53 | 88% | 0,2h | Озеро Рыба; 0,2h |
| 6,82 | 52% | 0,8h | Озеро Рыба; 0,8h |
| 7,79 | 59% | 0,5h | Озеро №11 |
| 7,35 | 56% | 0,5h | Озеро №11 (проба №2) |

*Таблица В9 – содержание кислорода в водных объектах дельты р. Лены в летний период*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Концентрация О2, (мг/л)** | **Концентрация О2, (% нас)** | **Место отбора пробы** |
| 14,45 | 125,3 | оз.Рыба |
| 10,7 | 90,7 | оз.Северо-Восточное |
| 11,72 | 99,3 | оз.Шеллоу-2 |
| 10,5 | 87 | оз. №10 |
| 10,64 | 87,7 | оз. №9 |
| 11,12 | 89,3 | оз.Восточное |
| 10,7 | 90,3 | оз.Моло |
| 10,95 | 90,8 | оз.Курунгнах |
| 10,7 | 86,2 | оз.Курунгнах-2 |
| 7,96 | 72,1 | оз.Банное-2 |
| 10,79 | 96,1 | оз.Южное |
| 6,43 | 59,5 | Трофимовская прот., Прав. берег |
| 7,55 | 67,4 | Трофимовская прот., Сред. Верт. |
| 7,25 | 76,7 | Трофимовская прот., Лев. Берег |
| 10,93 | 91,4 | Быковская прот., верт №1 |
| 10,85 | 91,4 | Быковская прот., верт №2 |
| 11,21 | 90,7 | Быковская прот., верт №3 |
| 12,7 | 119,4 | Оленекск. Прот, в ниж. течении, верт №3 |
| 8,63 | 82,8 | Оленекск. Прот, Гусинка, верт №1 |
| 9,03 | 86,7 | Оленекск. Прот, Гусинка, верт №2 |
| 9,6 | 86,6 | Оленекск. Прот, Гусинка, верт №3 |
| 8,78 | 85,6 | Оленекск. Прот, Чай-Тумус, верт №1 |
| 8,81 | 85,5 | Оленекск. Прот, Чай-Тумус, верт №2 |
| 8,87 | 85,8 | Оленекск. Прот, Чай-Тумус, верт №3 |
| 9,33 | 86,1 | Оленекск. Прот, Главный г/с, верт №1 |
| 8,8 | 85,4 | Оленекск. Прот, Главный г/с, верт №3 |
| 8,52 | 83,7 | Оленекск. Прот, Главный г/с, верт №4 |
| 8,86 | 88,7 | Туматская прот., основной г/с, верт №1 |
| 8,2 | 82,5 | Туматская прот., основной г/с, верт №2 |
| 8,2 | 82,7 | Туматская прот., основной г/с, верт №3 |
| 8,14 | 83 | Туматская прот., основной г/с, верт №4 |

*Таблица В10 – содержание углекислого газа в водных объектах дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Название объекта** | **горизонт** | **pH** | **kH** | **СО2 рассчит мг\л** |
| Главное русло | 0,2h | 7,1 | 2,22 | 25,5 |
| 0,8h | 7,44 | 2,35 | 12,4 |
| Главное русло 2 | 0,2h | 7,82 | 2,27 | 5,0 |
| 0,8h | 7,73 | 1,75 | 4,7 |
| Главное русло 3 | 0,2h | 7,81 | 1,91 | 4,3 |
| 0,8h | 7,84 | 1,69 | 3,5 |
| Оленекская протока | 0,2h | 7,72 | 1,83 | 5,1 |
| 0,8h | 7,7 | 2,05 | 5,9 |
| Озеро Банное-2 | 0,2h | 7,42 | 0,68 | 3,7 |
| 0,8h | 7,37 | 0,40 | 2,5 |
| Озеро Моло | 0,2h | 7,32 | 0,69 | 4,8 |
| 0,8h | 7,38 | 0,57 | 3,5 |
| Озеро №10 | 0,2h | 7,9 | 0,55 | 1,0 |
| 0,8h | 7,04 | 0,61 | 8,0 |
| Озеро Банное-3 | 0,2h | 9,46 | 1,46 | 0,1 |
| 0,8h | 8,3 | 1,31 | 1,0 |
| Озеро №9 | 0,5h | 7,39 | 3,71 | 21,8 |
| Озеро Банное-1 | 0,2h | 7,01 | 1,77 | 25,0 |
| 0,8h | 7,27 | 1,75 | 13,6 |
| Озеро Рыба | 0,2h | 7,33 | 0,53 | 3,6 |
| Озеро №11 | 0,5h | 6,98 | 0,52 | 7,8 |

*Таблица В11 – содержание биогенных элементов в водных объектах дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора** | Горизонт | **Содержание элементов мкг/л** | | | |
| **SiO3** | **PO4** | **NO2+NO3** | **NO2** |
| оз. Моло | 0,2h | 535,62 | 6,89 | 5,08 | 2,13 |
| оз. Моло | 0,8h | 706,64 | 13,81 | 12,88 | 12,06 |
| оз. №10 | 0,2h | 1307,01 | 11,10 | 2,83 | 2,02 |
| оз. №10 | 0,8h | 1235,74 | 5,23 | 10,89 | 9,00 |
| оз. Банное-1 | 0,2h | 736,82 | 9,91 | 3,20 | 2,64 |
| оз. Банное-1 | 0,8h | 806,38 | 9,60 | 1,96 | 1,60 |
| оз. Банное-2 | 0,2h | 1265,09 | 5,68 | 4,85 | 2,33 |
| оз. Банное-2 | 0,8h | 906,07 | 5,88 | 4,73 | 2,00 |
| оз. Банное-3 | 0,2h | 1385,37 | 9,26 | 3,63 | 2,82 |
| оз. Банное-3 | 0,8h | 1398,37 | 8,09 | 8,20 | 7,31 |
| оз. №9 | 0,2h | 2482,38 | 6,36 | 5,13 | 3,03 |
| оз. №11 | 0,8h | 931,12 | 4,65 | 4,97 | 2,04 |
| Оленекская протока | 0,5h | 2064,27 | 10,76 | 6,03 | 5,26 |
| Оленекская протока | 0,5h | 2084,35 | 10,28 | 6,20 | 5,30 |
| Главное русло-1 | 0,2h | 2150,20 | 6,86 | 5,97 | 2,83 |
| Главное русло-1 | 0,8h | 2072,98 | 9,81 | 26,04 | 24,76 |
| Главное русло-2 | 0,2h | 2013,08 | 5,02 | 7,75 | 5,11 |
| Главное русло-2 | 0,8h | 2051,61 | 10,58 | 13,37 | 12,20 |
| Главное русло-3 | 0,2h | 1993,41 | 10,86 | 4,57 | 3,47 |
| Главное русло-3 | 0,8h | 1953,40 | 6,24 | 5,78 | 2,67 |
| Лед на главном русле | - | 224,45 | 6,58 | 10,74 | 9,28 |

*Таблица В12 – содержание биогенных элементов в водных объектах дельты р. Лены в летний период*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Место отбора** | Горизонт | **Содержание элементов мкг/л** | | | |
| **SiO3** | **PO4** | **NO2+NO3** | **NO2** |
| оз. Банное-2 | 0,2h | 466,38 | 11,75 | 1,36 | 1,25 |
| оз. Банное-2 | 0,2h | 503,12 | 10,10 | 1,43 | 1,35 |
| Оленекская протока-1 | 0,2h | 1043,92 | 7,31 | 2,02 | 2,12 |
| Оленекская протока-1 | 0,8h | 950,95 | 6,92 | 1,77 | 1,89 |
| Оленекская протока-3 | 0,2h | 1070,12 | 9,97 | 1,80 | 1,87 |
| Оленекская протока-3 | 0,8h | 1039,14 | 6,56 | 1,85 | 1,88 |
| Оленекская прот. близ Чай-Тумус | 0,2h | 869,47 | 14,19 | 1,73 | 1,79 |
| Оленекская прот. близ Чай-Тумус | 0,8h | 895,99 | 10,51 | 1,77 | 1,80 |
| Оленекская прот. близ Гусинка | 0,2h | 1004,28 | 8,60 | 1,86 | 1,91 |
| Оленекская прот. близ Гусинка | 0,8h | 1028,97 | 8,50 | 1,64 | 1,67 |
| Ручей близ Гусинка | - | 125,63 | 14,16 | 1,68 | 1,75 |
| Фирн на Оленекской протоке | - | 82,87 | 168,33 | 2,89 | 2,95 |

*Таблица В13 – цветность и перманганатная окисляемость водных объектов дельты р. Лены в зимний период*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Перманганатная окисляемость (мг O/л)** | **Цветность (градусы pt-co)** | **Место отбора проб** |
| - | 33 | Главное русло, створ №1; 0,2h |
| - | 44 | Главное русло, створ №1; 0,8h |
| - | 33 | Главное русло, створ №2; 0,2h |
| - | 30 | Главное русло, створ №2; 0,8h |
| - | 40 | Главное русло, створ №3; 0,2h |
| - | 30 | Главное русло, створ №3; 0,8h |
| - | 30 | Оленекская протока; 0,2h |
| - | 27 | Оленекская протока; 0,8h |
| 17,70 | 40 | Озеро Банное-2; 0,2h |
| 9,82 | 48 | Озеро Банное-2; 0,8h |
| 9,37 | 44 | Озеро Моло; 0,2h |
| 6,36 | 33 | Озеро Моло; 0,8h |
| 7,84 | 56 | Озеро №10; 0,2h |
| 4,56 | 48 | Озеро №10; 0,8h |
| 16,22 | 96 | Озеро Банное-3; 0,2h |
| 14,00 | 77 | Озеро Банное-3; 0,8h |
| 20,47 | 178 | Озеро №9 |
| 12,63 | 89 | Озеро Банное-1; 0,2h |
| 11,58 | 142 | Озеро Банное-1; 0,8h |
| 8,83 | 40 | Озеро Рыба; 0,2h |
| 8,53 | 44 | Озеро Рыба; 0,8h |
| 7,88 | 37 | Озеро №11 |
| - | 30 | Серый лед, главное русло |
| - | 37 | Снег, главное русло |
| - | 40 | Пов лед, Оленекская |
| - | 23 | Прозрачный лед, Оленекская |
| - | 37 | Снег, Оленекская |
| - | 192 | Снег с песком, Банное-3 |
| - | 168 | Снег, Банное-3 |
| - | 20 | Моло лед |
| - | 96 | Моло снег |