

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» (СПбГУ)  
ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ**

Выпускная квалификационная работа на тему:

**ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СТОК Р. ЛЕНЫ И ЕГО ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ  
И ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ**

по направлению подготовки 05.04.04 «Гидрометеорология»

Выполнила:  
студентка 4 курса  
очного отделения  
Васякина Анастасия Валерьевна

Научный руководитель:  
Кандидат химических наук,  
Доцент  
Потапова Татьяна Михайловна

Санкт-Петербург

2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ЛЕНЫ .....	4
1.1. Климат .....	6
1.2. Рельеф и геологическое строение .....	8
1.3. Почвы .....	10
1.4. Растительный покров .....	12
1.5. Гидрография .....	14
ГЛАВА 2. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	21
2.1. Гидролого-гидрохимическая характеристика района исследования по литературным данным .....	21
2.2. Виды антропогенных воздействий исследуемого района по литературным данным	24
ГЛАВА 3. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ЛЕНЫ .....	26
3.1. Характеристика информационной базы данных .....	26
3.2. Расчет геохимического стока .....	26
3.3. Пространственная изменчивость гидрохимических показателей .....	28
3.4. Изменчивость гидрохимического стока за годы разной водности .....	31
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ЗАМЫКАЮЩЕМУ СТВОРУ Р. ЛЕНА .....	34
4.1. Ионный сток .....	35
4.2. Сток биогенных веществ .....	37
4.3. Сток органических веществ .....	41
4.4. Сток взвешенных веществ .....	43
4.5. Сток загрязняющих веществ .....	45
4.6. Многолетняя изменчивость гидрохимического стока реки Лены .....	47
4.7. Сопоставление модулей геохимического стока с современными литературными данными. Анализ изменчивости стока растворенных веществ в многолетнем плане .....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	53

## **ВВЕДЕНИЕ**

Различные виды антропогенных воздействий и природных факторов полярных регионов приводят к целому ряду негативных изменений качества вод рек, оказывающих влияние на их экологическое состояние. Для оценки количественного изменения сбрасываемых веществ в воду и предотвращению негативного влияния на качество воды необходимо установить характеристики стока химических веществ в зависимости от водности.

В связи с этим основной целью моей работы явилось оценка временной и пространственной изменчивости геохимического стока р. Лены. Актуальность данного исследования определяется необходимостью проводить расчеты модулей геохимического стока для определения нормативного допустимого выброса загрязняющих веществ в разных частях бассейна реки с учетом водности лет.

К основным задачам работы относятся:

- Составление информационной базы гидрохимических и гидрологических данных в программе Excel за многолетний период наблюдений
- Статистическая обработка гидрохимических данных
- Сопоставительный анализ гидрохимических показателей для лет разной водности в многолетнем плане
- Оценка изменчивости гидрохимических показателей в зависимости от гидрологических фаз водности (периоды открытого и закрытого русла)
- Расчет стока растворенных веществ в нижнем и среднем течении
- Сопоставительный анализ гидрохимического стока по замыкающему створу Кюсюр с современными данными

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ЛЕНЫ

Река Лена принадлежит Лено-Индибирскому региону, расположенному в северо-восточной части Азиатского материка между  $52^{\circ}00'$  и  $77^{\circ}30'$  с.ш. и  $92^{\circ}30'$  и  $160^{\circ}00'$  в.д. на данной площади более 4,2 млн. км<sup>2</sup>.

Наибольшая протяженность этой территории с севера на юг составляет около 2740 км, с запада на восток более 2300 км. На севере она омывается водами морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, на западе граница ее проходит от северной точки мыса Челюскина по водоразделу между притоками оз. Таймыр и Хатангского залива и бассейнами рек Хатанги и Енисея и далее Лены и Енисея, на юге - по водоразделу между бассейнами рек Лены и Амура, на востоке - по водоразделу между бассейнами рек Индибирки и Колымы до устья последней. Схема реки Лены, со створами Кюсюр и Табага, по которым производилось описание и расчеты, представлена на рис.1.1.

На низовьях реки Лены, которые располагаются на севере территории, вдоль побережья, находится обширные приморские низменности.

На территории среднего течения Лены располагаются эрозионно-денудационные низменные равнины.

Характерной особенностью всей территории является суровый и резко континентальный климат, повсеместное распространение многолетней мерзлоты, наличие наледей. Лесной ландшафт характерен для северных частей территории. Далее он сменяется тундрой.

Северная территория относительно слабо населена. Центральные районы наиболее населены и развиты в сельскохозяйственном отношении (Ресурсы ... 1972г.).

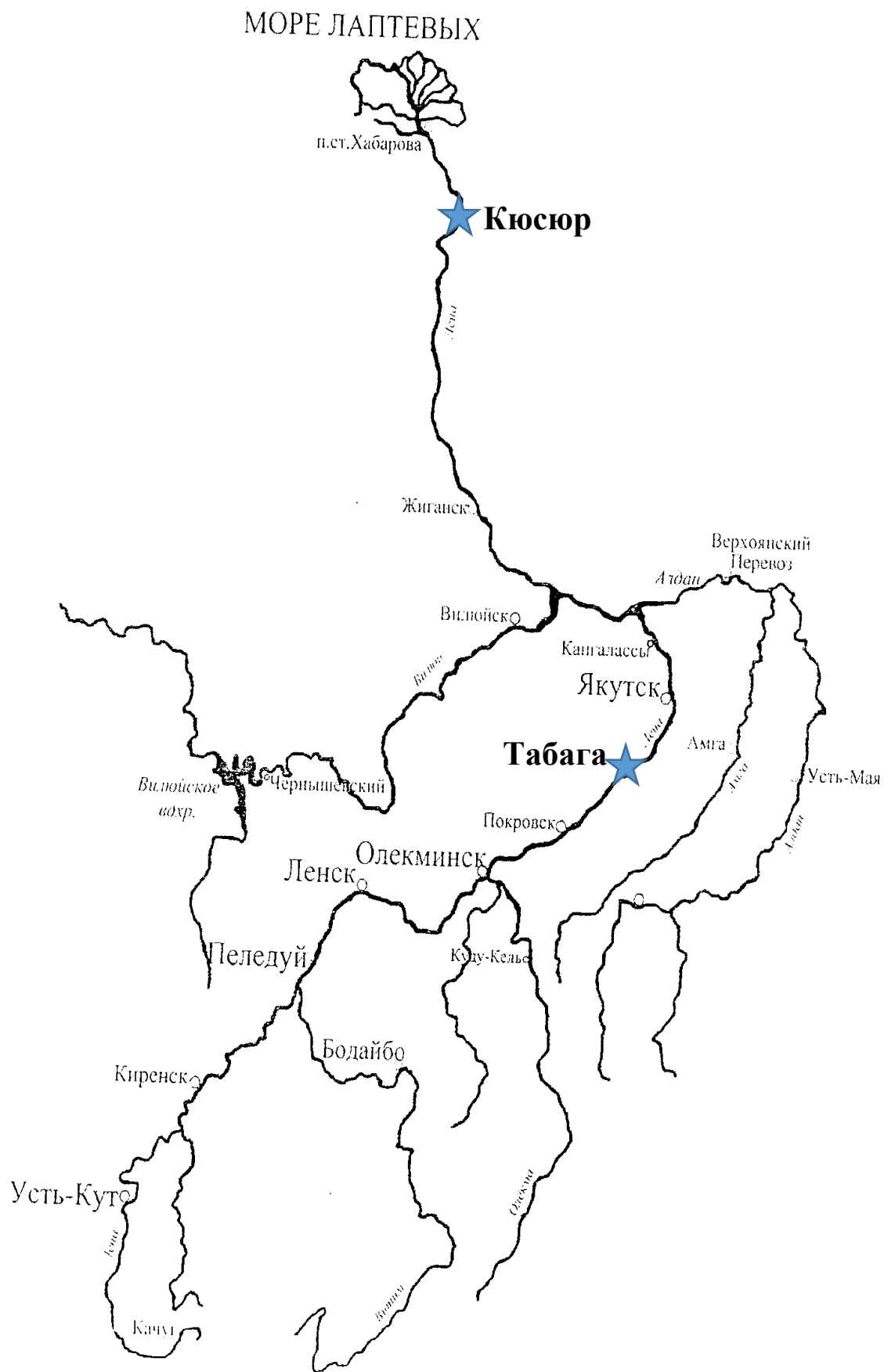


Рис.1.1. Схема реки Лены.

## 1.1. Климат

Климат Лено-Индибирского региона характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется очень низкими зимними до ( $-50^{\circ}$ ) – ( $-65^{\circ}\text{C}$ ) и высокими летними до ( $+20$ ) – ( $+35^{\circ}\text{C}$ ) температурами воздуха. Для нижней части бассейна Лены свойственен более мягкий климат, так как моря несколько обогревает берега осенью и зимой и, наоборот, охлаждают в теплое время года. Для средней части бассейна Лены климат – континентальный.

Главными факторами, определяющими такое своеобразие климата, являются ее удаленность и отгороженность горными системами от Атлантического и Тихого океана, открытость со стороны Северо-Ледовитого океана.

Рассмотрим климат нижней и средней частей реки Лена более подробно. Величина радиационного баланса для нижней части составляет около  $14 \text{ ккал/см}^2$ , для средней -  $29 \text{ ккал/см}^2$ . В холодное время года радиационный баланс изменяется до отрицательных значений. Продолжительность периода с отрицательным балансом составляет 8 месяцев, а для среднего течения она может становится меньше. Переход от отрицательному к положительному значению происходит в апреле.

Температура воздуха для низовьев р. Лены характеризуется большой амплитудой. Она равно приблизительно  $41^{\circ}\text{C}$ . Годовая температура воздуха равна ( $-14^{\circ}\text{C}$ ). С октября по апрель наблюдаются отрицательные температуры. Минимальная температура воздуха достигается в январе, и она равна ( $-33,3^{\circ}\text{C}$ ). Максимальная температура равна ( $+7,5^{\circ}\text{C}$ ) в августе.

Для средней части территории Лены амплитуда температур воздуха возрастает до ( $+62^{\circ}\text{C}$ ). Годовая температура воздуха равна ( $-10^{\circ}\text{C}$ ). Как и в нижнем течении, в среднем течении отрицательные температуры наблюдаются с октября по апрель. Наиболее низкие значение температуры, равные около ( $-50^{\circ}\text{C}$ ), достигаются в январе. Температура почвы зимой

повышается с глубиной. Положительная температура почвы наблюдается на глубине 40 см с мая по октябрь.

Относительная влажность воздуха в нижней части в течение года не сильно изменяется и равна 80-90% во все месяцы. В среднем течении она меняется более значительно: зимой от 60 до 80%, летом - 35-45%.

Годовое количество осадков в нижней и средней частях изменяется от 200-300 мм. Осадки выпадают в основном в теплый период года. Сумма осадков за холодный период составляет 35-45 мм. В средней части течения осадки в некоторые месяцы могут полностью отсутствовать. На территории среднего течения снежный покров залегает в течение 220-250 дней, на территории нижнего течения снежный покров держится до 260-280 дней. Максимальный запас в снеге отмечается в первой декаде апреля, и он составляет 110-170 мм в низовьях и 35-80 мм – в среднем течении.

Суммарное испарение с низовьев р. Лены составляет 150 мм, с территории среднего течения – 200 мм (Ресурсы ... 1972г.).

## 1.2. Рельеф и геологическое строение

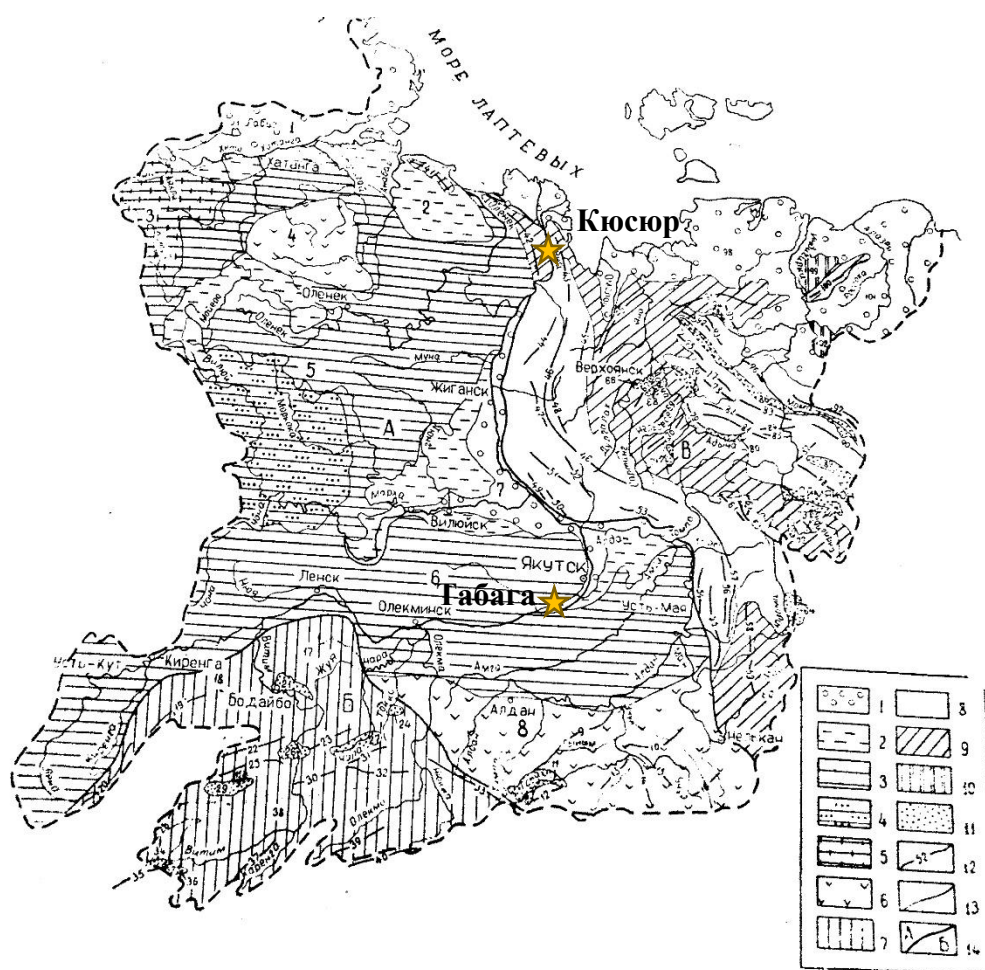


Рис.1.2.Орографическая и морфоструктурная схема (Н.М. Никитина и О.Н. Толстихин)

1 – аккумулятивные низменные равнины; 2 – эрозионно-денудационные низменные равнины; 3 – эрозионно-денудационные платовые плато; 4 – вулканические трапповые плато; 5 – вулканические лавовые плато; 6 – нагорья и плоскогорья древних щитов; 7 – глыбовые горы и нагорья; 8 – высокогорье и среднегорье; 9 – низкогорье и низкогорные кряжи; 10 – плоскогорья остаточных платформенных массивов; 11 – межгорные впадины; 12 – осевые линии хребтов; 13 – границы морфоструктур; 14 – границы и индексы орографических регионов.

Рассматриваемая территория нижней и средней частей бассейна реки Лены принадлежит преимущественно одной из крупнейших тектонических структур Восточной Сибири - Сибирской платформе (рис.1.2.). На Сибирской платформе преимущественно развиты плоскогорья, платовые плато и



равнины, и только на ее окраине в южной части находится нагорье со сравнительно интенсивно расчлененным рельефом.

Территория нижней и средней частей бассейна реки Лены находится на Центральноякутской низменности, представляющей собой аккумулятивную низменную равнину. Низменность является областью устойчивого опускания и осадконакопления в мезозойское, а в центральной части и в кайнозойское время. В сложении ее участвуют преимущественно терригенные, в том числе угленосные отложения юрского, мелового и в отдельных впадинах неогенового возраста. Широко развиты четвертичные отложения - озерно-ледниковые и аллювий. Суглинистые и супесчаные отложения высоких террас и водоразделов насыщены льдом (Ресурсы ... 1972г.).

### 1.3. Почвы

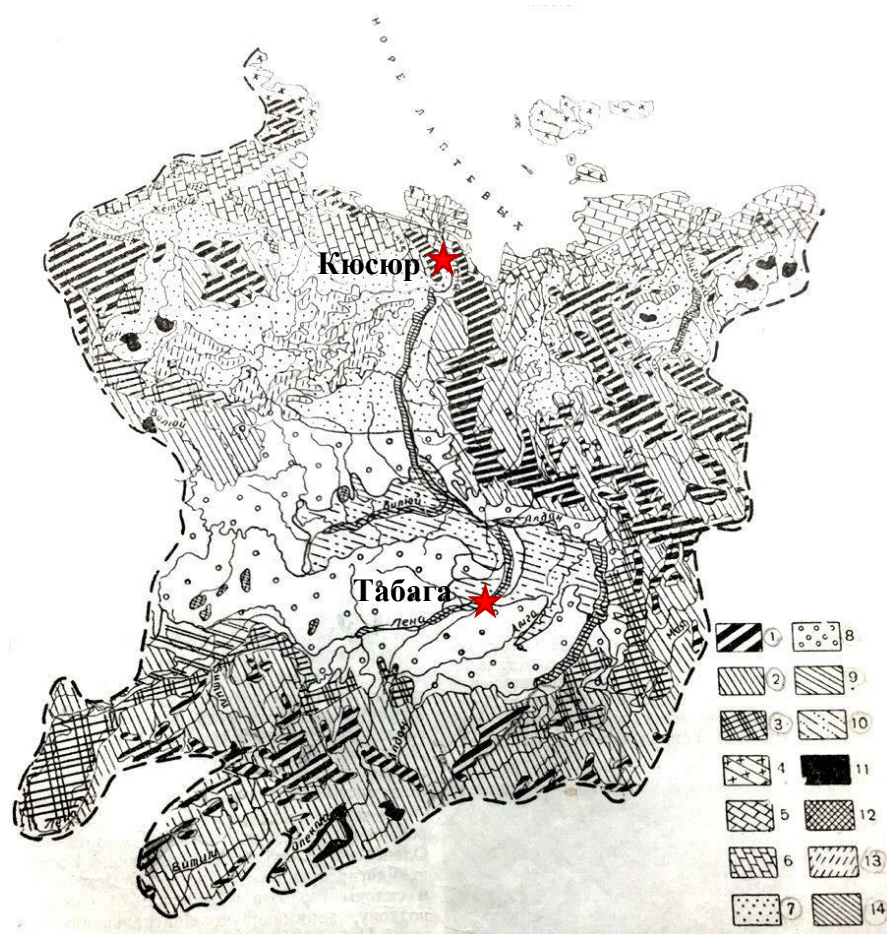


Рис.1.3. Схематическая карта почвенного покрова.

1 - горнотундровые, торфянисто-болотные и перегнойно-торфянистые; 2 - горнотаежные мерзлотные оподзоленные; 3 - горнотаежные прегнойно-карбонатные; 4 - арктические; 5 - тундровые арктические; 6 - тундровые глеевые и торфянисто-болотные; 7 - глеевые мерзлотно-таежные; 8 - таежные полевые мерзлотные; 9 - дерново-таежные мерзлотные; 10 - дерново-таежные, сильно осолоделые; 11 - подзолисто-болотные; 12 - торфяно-болотные и перегнойно-торфянисто-болотные; 13 - дерново-карбонатные и перегнойно-карбонатные; 14 - аллювиальные.

Почвы рассматриваемой территории крайне своеобразны (рис.1.3). Их образование происходит в условиях сложного рельефа, резко континентального климата и наличия многолетней мерзлоты, залегающей на небольшой глубине.

Рассматриваемая территория низовьев Лены принадлежит тундровой природной зоне, которая выражена особыми формами - арктическими

пустынями. Почвы тундры характеризуются малой мощностью, значительной влажностью, тиксотрофностью, заторфованностью и бедностью гумуса. Материнские породы однообразны и представлены четвертичными песками и суглинками. В нижнем течении Лены распространены поверхностно-кислые ненасыщенные тиксотропные суглинистые почвы, развитые на древнеаллювиальных отложениях, элювии мезозойских пород и морене. Преобладающими почвами тундры являются торфянисто-болотные и глеевые торфянисто-болотные.

Территория среднего течения реки Лены находится в зоне тайги. Почвы тайги характеризуются разной степенью оподзоливания, малой тиксотропностью и влажностью, и сравнительно высоким плодородием. Для почв среднего течения характерны мерзлотная деструкция и тиксотропность, проявляющиеся по-разному в зависимости от механического состава и влажности почв. Наиболее распространенными почвами для среднего течения являются дерново-таежные, сильно осолоделые и таежные солоды (Ресурсы ... 1972г.).

#### 1.4. Растительный покров

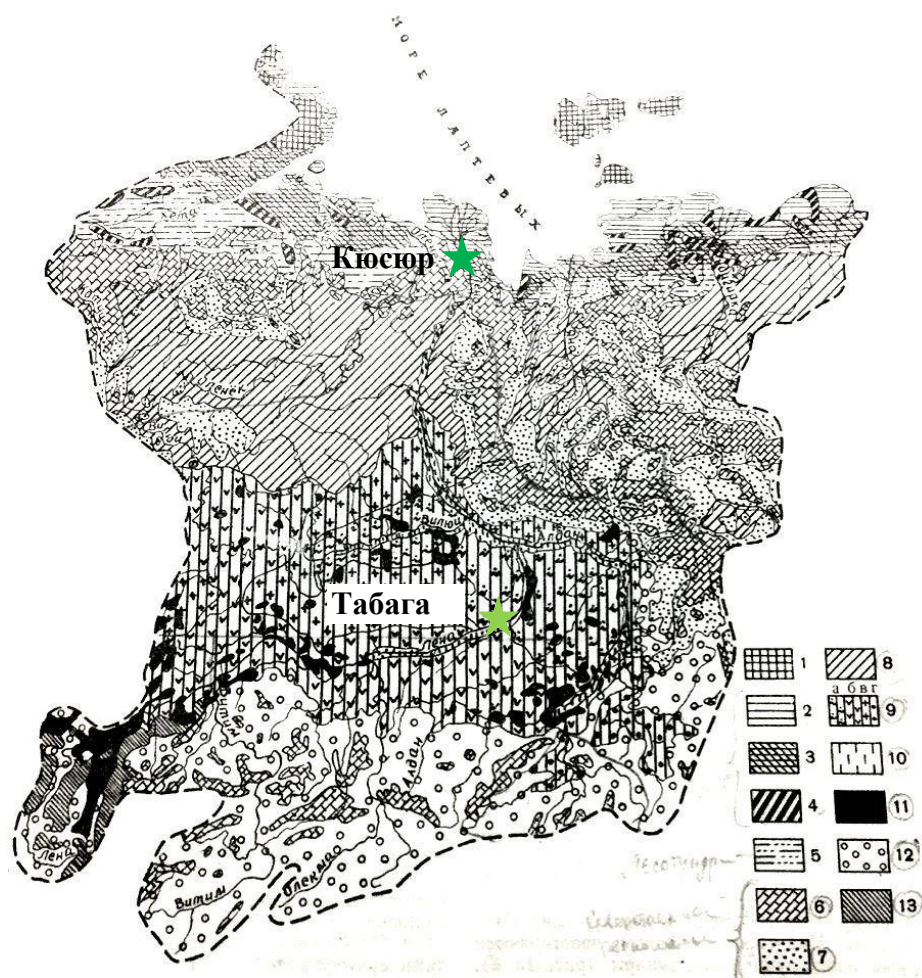


Рис.1.4.Схематическая карта растительного покрова.

1 - арктические пустыни; 2 - арктические тундры; 3 - мохово-лишайниковые тундры; 4 - осоко-пушицевые тундры; 5 - кустарничковые тундры и лесотундры; 6 - горнотундровая и разреженная растительность гольцов; 7 - горнолиственничное редколесье; 8 - лиственничные северо-таежные редкосточные леса; 9 - лиственничные среднетаежные леса; 10 - растительность пойм; 11 - лиственнично-сосновые таежные леса; 12 - горные лиственничные и лиственнично-кедровые леса; 13 - горнотаежные и темнохвойные леса.

Характерной чертой растительного покрова рассматриваемой территории (рис. 1.4.) является почти повсеместное преобладание в лесной зоне лиственничных лесов и их даурской лиственницы, широкое распространение хвойно-широколиственных лесов на юге, присутствие в таежной зоне среди лесных массивов небольших лесостепных участков (чаранов), отдельные пятна степных формаций и участков с солончаковой растительностью.

Территория нижней части бассейна реки Лены относится к арктическим тундрам. Они характеризуются безлесьем и преобладанием безконевоых мхов и лишайников, наличием стелющихся видов (карликовая ива и береза) и подушкообразных растений (камнеломка). Растительный покров арктической тундры разреженный и представлен в основном мхами и лишайниками. Значительную площадь занимают болота и озера. По берегам неглубоких озер встречаются заросли арктофилов, осок и хвоща. По побережью материка распространены приморские луга, которые формируются на засоленных почвах и систематически орошаются водами во время морских приливов и нагонов.

Территория средней части бассейна Лены находится в зоне тайги, которая в свою очередь делится на две подзоны: северотаежное редколесье и среднетаежная зона. Последовательность смены указанных зон в широтном направлении хорошо прослеживается на территории среднего течения. Подзона северотаежного редколесья характеризуется сильно разреженным лиственничным лесом, широким распространением ерниковых зарослей и слабым травостоем. Среднетаежная подзона характеризуется присутствием темнохвойных пород. Леса этой зоны отличаются сомкнутостью крон, большой высотой, различным подлеском и богатством травянистого яруса. Здесь встречаются участки степей, луга, ерники, лиственничные леса и сосняки (Ресурсы ... 1972г.).

## 1.5. Гидрография

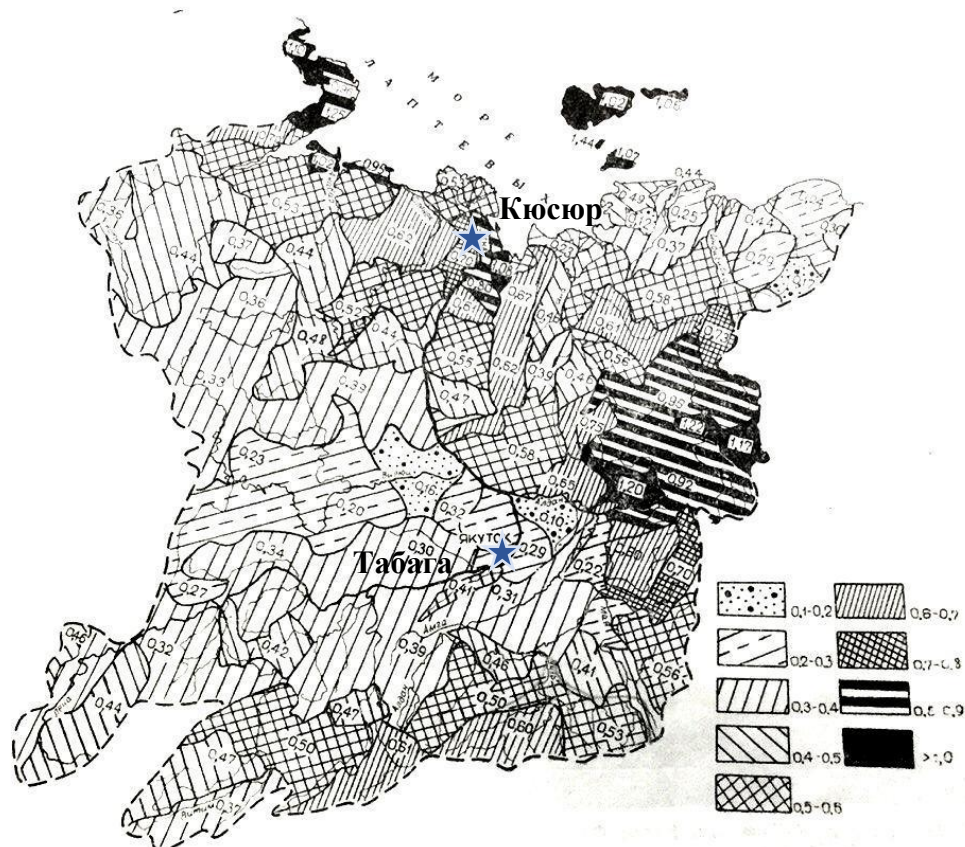


Рис. 1.5. Карта густоты речной сети, км/км<sup>2</sup>.

Рассматриваемая территория располагает большим количеством поверхностных водных объектов.

Основные черты гидрографии и режима водных объектов в данных условиях определяются сложными сочетаниями климатических особенностей, рельефа, геологического строения и многолетней мерзлоты.

Речная сеть территории принадлежит к бассейну моря Лаптевых. Река Лена принадлежит к числу величайших водных артерий мира, а среди рек СССР по длине и площади водосбора она занимает соответственно второе и третье место.

Густота речной сети относительно большая, в среднем около 0,5 км/км<sup>2</sup> (рис.1.5.).

Строение речного бассейна реки Лены довольно асимметричное. Водораздельные линии большей частью хорошо выражены. Характерной чертой речной сети территории является ее глубокий врез.

На равнинах и особенно низменностях речные долины широкие, с пологими склонами и поймами. Река Лена образует обширные дельты.

Реки относительно равнинной территории имеют преобладающее снеговое питание.

Особенности водного режима рек в общем соответствуют характеру их питания. Годовой гидрограф рек в основном снегового питания отличается высоким половодьем, а гидрограф рек, в основном дождевого питания - большими летне-осенними паводками.

Доля подземных вод в питании рек, находящихся в условиях сплошной многолетней мерзлоты, обычно не превышает нескольких процентов.

Годовые амплитуды колебаний уровня воды рек в среднем составляют: около 0,5 м при площади водосбора 100 км<sup>2</sup>, 6-7 м при площади порядка 100 000 км<sup>2</sup> и 10-12 м при еще больших площадях. Максимальные годовые амплитуды колебаний уровня воды на больших реках, связанные с заторами льда, достигают 15-20 м, на р. Лене даже 28 м (Ресурсы ... 1972г.).

Река Лена является главной водной магистралью Восточной Сибири. Основные ее характеристики представлены в табл.1.1. (Никаноров...2011)

Таблица 1. 1.Характеристика р. Лена

Площадь бассейна <sup>1</sup> , тыс. км <sup>2</sup>	Площадь дельты, тыс. км <sup>2</sup>	Объем речного стока за год <sup>1</sup> , км <sup>3</sup>	Среднеголетний расход, м <sup>3</sup> /с	Слой годового стока <sup>2</sup> , мм	Коэффициент годового стока	Длина, км	Озерность, %	Заболоченность, %
2426	27,7	527	16 730	208	0,45	4400	6	30

<sup>1</sup>По данным Глобального центра данных по стоку GRDC (<http://grdc.bafg.de>)

<sup>2</sup>По данным (Водные ресурсы...1967)

По характеру течения р. Лена обычно делят на три крупных участка: верхний - от истока до устья. Витима (1690 км), средний - от устья р. Витима до впадения р. Алдана (1400 км) и нижний - от устья р. Алдана до о. Столб (1310 км).

На среднем участке р. Лена становится полноводнее. Здесь на значительном протяжении река протекает по дну узкой долины, склоны которой в отдельных местах отвесно обрываются к урезу воды. Несколько выше устья р. Ботомы Лена постепенно выходит из области плато и вступает в Центральнаякутскую низменность. Ниже г. Якутска долина реки расширяется до 5-10 км и более, на ее склонах прослеживаются террасы.

В среднем течении за счет притоков река имеет преимущественно дождевое питание, летне-осенний сток увеличивается, но в отдельные годы он может быть меньше весеннего. Доля стока за зимний период равна 11%.

Нижней участок реки Лены имеет ширину до 25-30 км и течет преимущественно в разветвленном русле. На протяжении от о. Жолдонга до дельты долина реки стеснена Хараулахскими горами, а русло ее сужается с 5 км у с. Жиганска до 2,0 - 2,5 км. Наиболее узкий участок находится в районе с. Кюсюр

Дельта р. Лены занимает площадь 27,7 тыс. км<sup>2</sup>. Здесь река дробится на многочисленные рукава, образуя 1614 островов.

На нижнем течении основным является снеговое питание. Сток за май-июнь составляет 50-70%, сток же за зимние время снижается до 6-7% его годового объема (Ресурсы ... 1972г.).

Схема реки Лены, с створами Кюсюр и Табага представлена на рис.1.1.

Среднемноголетний расход в створе Кюсюр реки Лены равен 16730 м<sup>3</sup>/с, в створе Табага - 7000 м<sup>3</sup>/с. Проанализировав данные гидрологических ежегодников с 1963-1988 было выявлено, что средним по водности за 60-е гг



является 1968 год, как и для с. Кюсюр (Средний годовой расход = 17000 м<sup>3</sup>/с), так и для с. Табага (Средний годовой расход = 6400 м<sup>3</sup>/с). Гидрографы ежедневных расходов реки Лены для лет средней водности по двум створам представлены на рис.1.6. - рис.1.7.



Рис.1.6. Гидрограф ежедневных расходов для средневодного года - 1968 г. Лена - с. Кюсюр



Рис.1.7. Гидрограф ежедневных расходов для средневодного года - 1968 г. Лена - с. Табага

Как видно из гидрографов за средневодный год по двум створам, межень начинается с ноября и продолжается до мая месяца. Для с. Кюсюр (нижние течение) характерно наступление половодья позже - в середине мая.

Половодье для с. Табага (среднее течение) начинается с начала мая и продолжается, как для с. Кюсюр, до 4 месяцев. Осенью также могут наблюдаться паводки, особенно в среднем течении.

Проанализировав кадастровые данные с 1963-1988 было выявлено, что малым по водности за 60-е гг. является 1969 год, как и для с. Кюсюр (Средний годовой расход = 14900 м<sup>3</sup>/с), так и для с. Табага (Средний годовой расход = 5600 м<sup>3</sup>/с м<sup>3</sup>/с). Гидрографы ежедневных расходов реки Лены для лет малой водности по двум створам представлены на рис.1.8. - рис.1.9.



Рис.1.8.Гидрограф ежедневных расходов для маловодного года - 1969 г. Лена - с. Кюсюр



Рис.1.9.Гидрограф ежедневных расходов для маловодного года - 1969 г. Лена - с. Табага

Для гидрографа за маловодный год по двум створам характерна совпадение фаз водного режима. Межень наблюдается с продолжительностью до 9 месяцев. В меженный период сток практически отсутствует. Для нижнего и среднего течения характерно растянутое летне-осеннее половодье, которое длится 3 месяца — начиная с конца мая – начала июня до сентября. На с. Кюсюр гидрограф имеет более сглаженный характер, чем на с. Табага, что можно объяснить разновременным таянием. Осенью могут быть паводки.

Многоводным годом для створов Кюсюр и Табага за 60-е годы по проанализированным данным гидрологических ежегодников с 1963-1988 является 1961 г. В створе Кюсюр средний расход за этот год составил 20000 м<sup>3</sup>/с, в с. Табага - 7900 м<sup>3</sup>/с. Гидрографы ежедневных расходов реки Лены для лет малой водности по двум створам представлены на рис.1.10. - рис.1.11.



Рис.1.10. Гидрограф ежедневных расходов для многоводного года - 1961 г. Лена - с. Кюсюр



Рис.1.11. Гидрограф ежедневных расходов для многоводного года - 1961 г. Лена - с. Табага

Наибольшее отличие устанавливается для многоводного года 1961. При сравнении гидрографов видно, что для нижнего течения характерно более растянутое и сглаженное половодье, один выраженный максимум половодья и быстрый спад, чем для среднего течения. Половодье в с. Кюсюр начинается в середине – в конце мая и заканчивается примерно в конце августа. В створе Табага половодье - растянутое и многопиковое за счет разновременного таяния с притоков. Межень длится до 9 месяцев. Сток практически отсутствует с ноября по май. Осенью наблюдаются паводки.

Речной сток на рассматриваемой территории в основном проходит в теплую часть года (75-90%). Около 20-30% объема весеннего стока обычно приходится на жидкие осадки.

При вскрытии реки часто происходят заторы льда, вызывающие подъемы уровня воды. На гидрографах можно заметить несколько пиков, обусловленные этим явлением, а также возвратом холодов или выпадением дождя в период снеготаяния. В летне-осеннее время всего бывают два-три небольших паводка (Ресурсы ... 1972г.).

Анализ изменения водности положен в основу интерпретации гидрохимических данных.

## ГЛАВА 2. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### *2.1. Гидролого-гидрохимическая характеристика района исследования по литературным данным*

Первые обобщения по гидрохимической характеристике р. Лена были составлены на основе режимных мониторинговых наблюдений в устьевом створе р. Лена (Гидрологический ежегодник...1961, Гидрологический ежегодник...1968, Гидрологический ежегодник...1969, Гидрологический ежегодник...1971) и опубликованы в монографии (Ресурсы .... 1972 г.). Согласно обобщению, приведённому в главе «Гидрохимическая характеристика устьевой области р. Лена» (Ресурсы .... 1972г.) представлено краткое заключение по гидрохимии нижнего (с. Кюсюр) и среднего (с. Табага) течения Лены.

На основе сопоставления данных по двум створам (Глава 1, рис.1.1.) показано (Ресурсы .... 1972 г.), что воды реки относятся к водам малой минерализации, значение которой колеблется от 100 до 120 мг/л. Отличия по минерализации и по содержанию ионов по двум створам (Кюсюр и Табага) не превышают 10%. Преобладающим анионом является  $\text{HCO}_3^-$  (50 мг/л), а катионом -  $\text{Ca}^{++}$  (20 мг/л).

Также выявлены следующие закономерности сезонной изменчивости по двум постам: в период весеннего половодья минерализация меняется от 50 до 150 мг/л. Состав воды в период половодья характеризуется преобладанием ионов  $\text{HCO}_3^-$  (30-60 мг/л) и  $\text{Ca}^{++}$  (10-20 мг/л). В период зимней межени минерализация меняется от 150 до 650 мг/л. В период межени химический состав вод во многом определяется химическим составом подземных вод. В створе Табага влияние грунтового питания более выражено, что определяет состав воды в меженный период – воды становятся хлоридно - кальциевыми.

Согласно проведенным расчетам за период 1959-1967 гг. значение ионного стока реки Лены со всего водосбора считалось для с. Кюсюр и он

составил 55,55 млн т/год. Модуль стока для замыкающего створа равен 23 т/год – км<sup>2</sup>.

В современных работах (Геоэкологическое состояние ...2007) в главе «Природная и техногенная изменчивость стока растворенных веществ» М.Б. Заславской и Л.Е. Ефимовой представлены данные о качестве вод крупнейших рек арктической зоны Сибири. Согласно работе по качеству воды был оценен гидрохимический сток по замыкающему створу р. Лены – с. Кюсюр: ионный сток составляет 46,1 млн т/год, сток сульфатов – 7,53 млн т/год, сток хлоридов – 6,43 млн т/год, объем сточных вод – 2,248 млн м<sup>3</sup>, сток нефтепродуктов 1,0 т/год, сток фенолов – 18,0 т/год, сток железа – 2,144 т/год. В работе также была приведена оценка качества воды в замыкающем створе р. Лена по приоритетным загрязняющим веществам (БПК<sub>5</sub>, O<sub>2</sub>, нефтепродукты, фенолы, медь и цинк) методом ИЗВ по расходам разной обеспеченности – 5 и 50 %. По данным работы (Геоэкологическое состояние ... 2007) содержание большинства загрязняющих веществ, включенных в расчёт ИЗВ превышает ПДК в 2-10 раз. Наибольшие превышения ПДК выявлены по нефтепродуктам в 2 раза, по фенолам в 9,5(2 ПДК для обеспеченности 5 %), по меди – 6,5 ПДК. Для вод с 50 % обеспеченностью по классу качества, воды реки Лены относятся к чистым, а для вод с 5 % обеспеченностью - к грязным.

Оценка загрязнения реки Лены в нижнем створе представлена и в работе «Воды России. Речные бассейны» под ред. Черняева (Вода...2000), в которой приведены данные о поступлении сточных вод в бассейн реки Лены, представленной в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Характеристика объема и состава основных сточных вод (1996 г.), поступающих в бассейне Лены (Вода...2000)

Место поступления сточных вод	Объем сточных вод, млн. м <sup>3</sup>	Сброс загрязняющих веществ, т				
		Нефтепродукты	Фенолы	Железо	Медь	Цинк
с. Кюсюр	2,248	1,0	18,0	2,144	0,0	0,0
Бассейн в целом	128,5	62	158	109,3	0,579	0,805

Согласно описанию (Вода...2000) авторы оценивают незначительный объем поступления загрязняющих веществ в нижнем течении и делают вывод о слабом влиянии сточных вод на качество воды в устье реки в виду ее высокой самоочищающей способности.

В монографии А.М. Никанорова “Региональная Гидрохимия” (Никаноров...2011) на основании анализа и обобщения информации с использованием данных сети Государственной службы наблюдений были освещены особенности современного состояния нижней и средней частей р. Лены с учетом изменчивости основных показателей (минерализация, содержание биогенных элементов и органических веществ, сток растворенных химических веществ). По данным работы (Никаноров...2011) минерализация уменьшается от среднего к нижнему течению (от 200 до 100 мг/л). Преобладающим анионом для обоих постов является -  $\text{HCO}_3^-$ . Различия наблюдаются в катионном составе: для воды в нижнем течении (с.Кюсюр) –  $\text{Ca}^{++}$ , а для с. Табага -  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . По аммонийному и нитратному азоту на обоих постах (Кюсюр и Табага) не наблюдалось превышения ПДК. По содержанию нитритного азота отмечалось превышения ПДК (ПДК = 0,02 мг/л) в 3 раза в среднем течении р. Лены (с. Табага), в нижнем (с. Кюсюр) - превышения нормы не прослеживалось. По содержанию фосфора наблюдается уменьшения концентрации вниз по течению. По железу общему наблюдается превышение ПДК (0,10 мг/л) в обоих створах в 2-3 раза. Содержание ХПК<sub>5</sub> по обоим створам превышает ПДК (15 мг/л) в 1,5 раза. Превышение нормы ПДК по БПК<sub>5</sub> в с. Кюсюр не выявлено. В с. Табага разово наблюдалось превышение по БПК<sub>5</sub> в 1,5 – 2 раза. Установленные автором максимальные значения стока растворенных веществ по замыкающему створу составляли соответственно: для хлоридов - 15,35 млн. т/год, сульфатов - 11,72 млн. т/год, ХПК<sub>5</sub> - 1,38 млн. т/год и кремния - 1,29 млн. т/год.

Оценка качества воды в реке Лены, приведенная в работе, (Никаноров...2011) выявила максимальное загрязнение для соединений меди: 3,2 – 16,2 ПДК. По мнению автора, это связано с растворением медесодержащих минералов пород, слагающих русло реки. На основе комплексной оценки загрязненности р. Лена – Кюсюр по величине ИЗВ вода нижнего течения характеризуется как загрязненная и очень загрязнённая за 2005-2009 гг.

## *2.2. Виды антропогенных воздействий исследуемого района по литературным данным*

Качество воды и загрязненность в средней и нижней частях реки Лена определяются влиянием естественных и антропогенных факторов.

Естественными факторами региональных гидрохимических особенностей всей водосборной территории являются относительно высокая заболоченность территории, приводящие к увеличению содержания органических веществ и общего железа, а также геохимические особенности береговой зоны, связанные с выходом медесодержащих минералов.

Из числа антропогенных факторов наибольшее негативное влияние на качество воды в реке оказывают недостаточно очищенные и неочищенные сточные воды золото- и алмазодобывающей промышленности, сточные воды промышленных и хозяйственно-бытовых предприятий, нефтебазы и объекты водного транспорта: суда речного флота, порты, судоверфи и т.д. Для низовьев р. Лены характерны такие антропогенные факторы как: предприятия жилищно-коммунального хозяйства, речной транспорт, речные порты и военные объекты (Никаноров, Брызгалов...2011).

По мнению авторов монографии, (Геоэкологическое состояние...2007) на качество воды в верхнем и среднем течении наибольшее влияние оказывают предприятия горнорудной и нефтедобывающей промышленности, в нижнем течении – водный транспорт (Ленское объединение речного



пароходства, порты Хатанга, Тикси). Это приводит к загрязнению среднего течения характерными загрязняющими веществами (повторяемость превышений ПДК более 50% в год), к которым относятся: соединения меди, железа общего и цинка, фенолы, органические вещества по ХПК<sub>5</sub>, легкоокисляемые органические вещества по БПК<sub>5</sub>. А в нижнем течении приоритетными загрязняющими веществами являются: соединения железа, фенолы, органические вещества по ХПК<sub>5</sub> и нитритный азот (Геоэкологическое состояние...2007).

## ГЛАВА 3. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ЛЕНЫ

### 3.1. Характеристика информационной базы данных

Для расчета геохимического стока р. Лены и его временной, пространственной и сезонной изменчивости создавалась информационная база данных на основе материалов гидрологических ежегодников по гидрохимии (Гидрологические ежегодники ... 1961,1968,1969,1971,1973,1974) и ежегодным данным о качестве воды (Ежегодные данные...1983, 1985, 1986).

В период 1960-х годов наблюдения гидрометеорологической службы для с. Кюсюр проводились от 7 до 8 раз в год, для с. Табаги от 5 до 6 по таким компонентам, как ионный состав, углерод, азот нитритный, азот нитратный, фосфор, железо и кремний. В 1970-е годы были добавлены наблюдения за аммонийным и общим азотом, и они проводились от 7 до 10 раз в год на обоих постах. В 80-е годы были включены измерения ряда загрязняющих веществ (медь, цинк, фенолы и нефтепродукты), также программа была расширена до 14 измерений в год. Собранная база данных приведена в Приложении 1. Объем информационной базы составил 950 членов. Статистические характеристики значений также приведены в Приложении 1.

### 3.2. Расчет геохимического стока

Расчет геохимического стока производился по формулам:

$$Y = \frac{C_{cp} \cdot Q_{cp} \cdot t}{10^9} \text{ для расчета стока в тоннах}$$

Или

$$Y = \frac{C_{cp} \cdot Q_{cp} \cdot t}{10^6} \text{ для расчета в килограммах, где}$$

$C_{cp}$  – Средняя концентрация растворенного или взвешенного вещества за выбранный период в мг/л;

$Q_{cp}$  – Средний расход за выбранный исследуемый период в м<sup>3</sup>/с;

$t$  – Число секунд в году, равное 31 536 000 с.

Модуль стока определялся по формуле:

$$M = \frac{C_{cp} \cdot Q_{cp} \cdot t}{S \cdot 10^9} - \text{для расчета модуля в тоннах на километры в квадрате}$$

Или

$$M = \frac{C_{cp} \cdot Q_{cp} \cdot t}{S \cdot 10^6} - \text{в килограммах на километры в квадрате, где}$$

$C_{cp}$  – Средняя концентрация растворенного или взвешенного вещества за выбранный период в мг/л;

$Q_{cp}$  – Средний расход за выбранный исследуемый период в м<sup>3</sup>/с;

$t$  – Число секунд в году, равное 31 536 000 с;

$S$  – Площадь бассейна реки Лены, равная 2426 км<sup>2</sup>

Расчет модуля стока в тоннах на километр в квадрате считался для ионного стока, стока органических веществ и стока взвешенных веществ. Для всех остальных, модуль считался в килограммах.

Стоит отметить, что органических сток считался по перманганатной окисляемости, а если данные по ее содержанию отсутствовали, то брались данные по содержанию бихроматной окисляемости для пересчета на перманганатную ( $K=0,75$ ). В результате формула для расчета стока органических веществ и модуля стока:

$$Y = \frac{ПО_{cp} \cdot Q_{cp} \cdot t}{10^9}$$

$$M = \frac{ПО_{cp} \cdot Q_{cp} \cdot t}{S \cdot 10^9}, \text{ где } ПО - \text{ перманганатная окисляемость}$$

### 3.3. Пространственная изменчивость гидрохимических показателей

Пространственная изменчивость определялась по данным двух створов, расположенных в разных частях водосбора реки Лены. Для описания гидрохимического стока в среднем течении был выбран створ Табага, для характеристики нижнего течения – замыкающий створ Кюсюр. Данные брались из кадастровых данных ежегодников за период: 1960-70-е гг. (Приложение 1). Для каждого створа были определены годы разной водности на основе сопоставления среднемноголетнего значения расходов. Выбранные годы разной водности с значением среднегодового расхода за исследуемые периоды по двум створам приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Годы разной водности по двум створам

Период	Створ	Год	Расход, м <sup>3</sup> /с	Водность
1960-е	Кюсюр	1961	20000	Многоводный
		1968	17000	Средневодный
		1969	14900	Маловодный
	Табага	1961	7900	Многоводный
		1968	6400	Средневодный
		1969	5700	Маловодный
1970-е	Кюсюр	1971	16400	Средневодный
		1973	15800	Маловодный
		1974	19300	Многоводный
	Табага	1971	7100	Средневодный
		1973	6700	Маловодный
		1974	7900	Многоводный
1980-е	Кюсюр	1982	18500	Многоводный
		1984	16600	Средневодный
		1985	14600	Маловодный

Данные по каждому году различной водности усреднялись отдельно за 1960-е и 70-е годы и рассчитывались среднемноголетние значения за отдельные периоды наблюдения. Объем выборки для 60-х гг. по двум створам составил 240 членов, для 70-х – 305.

В таблице 3.2. представлены полученные значения гидрохимического стока за 1960-е годы по двум створам – Кюсюр и Табага.

Таблица 3.2. Гидрохимический сток за 1960-е годы для реки Лены в среднем течении (г.с. Табага) и в нижнем (г.с. Кюсюр)

Створ - Среднеголетний расход, м <sup>3</sup> /с	Сток	Элемент	С* среднеголетняя, мг/л	Модуль стока
Кюсюр - 17100	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	141,0	31,3
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	9,3	2,1
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,17	37,3
		Минеральный фосфор	0,010	2,2
		Железо	0,03	6,0
		Кремний	0,003	0,6
Табага - 7100	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	222,6	20,4
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	6,9	0,6
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,20	18,7
		Минеральный фосфор	0,006	0,6
		Железо	0,02	1,4
		Кремний	0,003	0,3

\*С - концентрация

В таблице, представленной выше, видно пространственную изменчивость ионного стока: модуль ионного стока увеличивается от среднего к нижнему течению на 40%. Это можно объяснить фактором водности в нижней части бассейна.

Модуль стока органических веществ также увеличивается от с. Табага к с. Кюсюр примерно в три раза, что связано с влиянием заболоченности территории на водосборе в результате чего наблюдаются повышенные содержания углерода в нижнем течении.

Сток биогенных веществ включает себя сток нитратного азота, минерального фосфора, железа и кремния. Модуль стока нитратного азота, фосфора и кремния увеличиваются на 50% к нижней части бассейна, что может происходить за счет дополнительного поступления биогенных

элементов с водосбора. Также происходит повышение модуля стока железа в 3 раза с продвижением вниз по реке за счет размыва берегов и поступлением железосодержащих компонентов воды реки.

Если делать общий вывод о модуле стока биогенных веществ, то он увеличивается от среднего течения с нижнему за счет разной степени освоенности водосборной территории и специфики геохимических условий.

Таким образом, анализ данных свидетельствует об увеличении гидрохимического стока от среднего к нижнему течению.

В 1970-х годы в кадастровых данных появляются сведения о содержании аммонийного и общего азота. В таблице 3.3. представлена пространственная изменчивость гидрохимического стока за 1970-е годы.

Таблица 3.3. Гидрохимический сток за 1970-е годы для реки Лены в среднем течении (г.с. Табага) и в нижнем (г.с. Кюсюр)

Створ - Среднеголетний расход, м <sup>3</sup> /с	Сток	Элемент	С среднегоголетняя, мг/л	Модуль стока
Кюсюр -16000	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	156,6	32,6
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	6,4	2,6
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Аммонийный азот	1,49	309,6
		Нитратный азот	0,14	29,4
		Общий азот	1,64	340,3
		Минеральный фосфор	0,008	1,7
		Железо	0,03	5,7
		Кремний	0,003	0,5
Табага -7000	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	254,6	23,2
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	8,4	7,7
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Аммонийный азот	0,31	27,9
		Нитратный азот	0,22	19,9
		Общий азот	0,50	45,7
		Минеральный фосфор	0,003	0,3
		Железо	0,01	1,1
		Кремний	0,003	0,3

Аналогичные закономерности, как и для 1960-х годов, наблюдается в 70-х: увеличение модуля ионного стока вниз по течению, вызванное увеличением расходов в нижней части водосбора реки Лены; увеличение модуля органического стока в 3 раза в с. Кюсюр, за счет влияния болот; увеличение модуля биогенных элементов в несколько раз за счет геохимических особенностей территории.

Существенные отличия между 1960-ми и 70-ми наблюдаются в резком увеличении модуля стока аммонийного и общего азота в нижней части бассейна в 8 – 10 раз. Это связано с тем, что в 70-е годы началось активное освоение территории водосбора сельскохозяйственными предприятиями и, следовательно, на водосбор стали поступать в большом количестве азотистые удобрения, в результате это концентрации общего и аммонийного азота резко возросли.

#### *3.4. Изменчивость гидрохимического стока за годы разной водности*

Для определения пространственной изменчивости гидрохимического стока за годы разной водности (маловодные, средневодные и многоводные) брались два периода -1960-е и 70-е гг. и по двум створам – Кюсюр и Табага. Маловодными годами для 2-х створов являются 1969 и 1973, средневодными – 1968 и 1971 и многоводными – 1961 и 1974 года. Для 1973 и 1974 годов отсутствуют данные по нитратному азоту и поэтому модуль стока для него не считался.

В результате анализа пространственной изменчивости модуля стока для лет разной водности были обнаружены схожие закономерности, поэтому в основной части работы представлена таблица 3.4. по гидрохимическому стоку за 1960-70-е годы средней водности. Таблицы по маловодным и многоводным годам находится в Приложении 2.

Таблица 3.4. Гидрохимический сток за средневодные годы для реки Лены в среднем течении (г.с. Табага) и в нижнем (г.с. Кюсюр)

Год	Створ – Средний за год расход, м <sup>3</sup> /с	Сток	Элемент	Средняя за год, мг/л	Модуль стока
1968	Кюсюр - 17000	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	127,9	41,2
		Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	7,4	2,4
		Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,15	49,1
			Минеральный фосфор	0,002	0,5
			Железо	0,01	3,6
			Кремний	0,003	0,9
	Табага - 6400	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	188,5	28,4
		Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	8,1	1,2
		Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,09	14,2
			Минеральный фосфор	0,006	0,9
			Железо	0,02	2,4
			Кремний	0,003	0,4
1971	Кюсюр - 16400	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	136,1	34,9
		Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	7,0	1,8
		Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Аммонийный азот	1,49	382,3
			Нитратный азот	0,14	36,3
			Общий азот	1,64	420,2
			Минеральный фосфор	0,011	2,7
			Железо	0,04	9,6
			Кремний	0,003	0,7
	Табага - 7100	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	236,2	26,5
		Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	6,0	0,7
		Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Аммонийный азот	0,31	34,3
			Нитратный азот	0,22	24,5
			Общий азот	0,501	56,2
			Минеральный фосфор	0,001	0,1
			Железо	0,02	2,2
			Кремний	0,003	0,3

Модуль ионного стока увеличивается от с. Табага к с. Кюсюр для лет разной водности в 1,5 - 2 раза. Для многоводных лет модуль ионного стока увеличился в большее количество раз (в 2-3 раза), по сравнению с маловодными и средневодными годами, из чего следует вывод что ионный сток зависит от водности.

Модуль стока органических веществ увеличивается на 50-55 % в нижнем течении реки за счет поступления углерода с болот, находящихся в нижней части бассейна. Для многоводных лет наблюдаются наибольшие значения



модуля ( $9,7 \text{ т/км}^2$ ) за счет увеличения водности. В отдельные годы разницы между модулями органического стока для разных частей бассейна Лены не наблюдаются (1974 год – средневодный год).

При продвижении вниз по течению идет повышение модуля стока биогенных веществ, как и для маловодных, так и для средне- и многоводных, в 2 – 4 раза. Отличия наблюдаются в маловодные годы, там модуль стока наиболее не устойчив. Модуль нитратного азота для маловодных годов практически совпадает (разница меньше 10 %). Модуль минерального фосфора для маловодных лет не имеет однозначную пространственную изменчивость, он различен для каждого года. Для 1969 года – идет увеличение модуля от средней части бассейна реки к нижней в 3 раза, а для 1973 – наоборот идет уменьшение в 7 раз. Модуль стока железа для всех лет разной водности увеличивается в 4 - 8 раз от Табаги к Кюсюру, также и увеличение происходит и по модулю стока кремния в 2 - 4 раза.

## **ГЛАВА 4. РАСЧЕТ СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ЗАМЫКАЮЩЕМУ СТВОРУ Р. ЛЕНА**

Временная изменчивость стока растворенных веществ считалась по замыкающему створу Кюсюр за периоды 60-х, 70-х и 80-х годов (Приложение 1 и 2) для лет разной водности. Выбранные годы соответствующей водности были представлены ранее в таблице 3.1 (Ежегодные данные...1983, 1985 и 1986). Также производилось сравнение рассчитанных данных со современным данным (Приложение 2) за 2005-2009 гг. (Никаноров...2011).

Сезонная изменчивость стока считалась для периодов открытого и закрытого русла, которые определялись отдельно для каждого года по изменению величин минерализации, изменению температур воды и расходов в течение года (Приложение 1). Количество проб, отобранных в период открытого русла для 60-х годов менялось от 4 до 6, для периода закрытого русла – 1 – 2 раз в год. Наблюдения за 70-е годы для периода открытого русла производились за 5 – 7 раз в год, для периода, закрытого русла от 1 до 3 раз. Для 80-х годов отбор проб за период открытого русла производился с периодичностью 4 - 6 в год, за период закрытого русла – 1 - 8 раз в год. Объем выборки для 80-х по замыкающему створу составляет 405 членов.

Модули ионного, биогенного и органического стока за 60-е и 70-е года были представлены ранее в таблице 3.2. и 3.3. Для 80-х годов также были рассчитаны модули стока взвешенных и загрязняющих веществ. Геохимический сток за 80-е годы представлен в табл. 4.1- 4.16.

Рассчитанные значения стока растворенных и взвешенных веществ представлены в Приложении 2.

Таблица 4.1. Геохимический сток реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за период 1980-х гг.

Створ - Среднегодовой расход, м <sup>3</sup> /с	Сток	Элемент	С среднегодовой, мг/л	Модуль стока
Кюсюр -17300	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	113,8	25,6
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	8,9	2,0
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Аммонийный азот	0,14	30,7
		Нитратный азот	0,11	25,1
		Общий азот	0,178	40,0
		Минеральный фосфор	0,025	1,2
		Железо	0,66	147,7
	Кремний	0,002	0,5	
	Сток взвешенных веществ, т/км <sup>2</sup>	Взвешенные вещества	5,5	1,2
	Сток загрязняющих веществ, кг/км <sup>2</sup>	Медь	0,006	1,9
		Цинк	0,01	2,9
		Нефтепродукты	0,05	11,2
Фенолы летучие		0,002	0,5	

Далее в данной главе будет представлен подробный анализ изменения каждого модуля стока растворенных и взвешенных веществ за годы разной водности за периоды открытого и закрытого русла.

#### 4.1. Ионный сток

Модуль ионного стока считался по значению минерализации для открытого и закрытого русла для лет разной водности. Для 1982 (многоводный год) и 1985 (маловодный год) гг. отсутствовали данные по сумме ионов, поэтому модуль ионного стока для них не определялся. В табл.4.2. – 4.3. представлены значения ионного стока для маловодных и многоводных лет за периоды открытой и закрытой воды. В приложении 2 представлены значения стока для средневодного года. На рисунке 4.1 представлены модули ионного

стока за периоды открытого и закрытого русла для средневодного года – 1984

г.

Таблица 4.2. Ионный сток реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за годы малой водности за периоды открытого и закрытого русла

Период	Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Ионный сток	
		С средняя за период, мг/л	Модуль стока, т/км <sup>2</sup>
Период открытого русла	1969 - 39100	79,7	40,5
	1973 - 47800	90,4	56,2
Период закрытого русла	1969 - 940	487,6	6,0
	1973 - 4300	209,5	11,6

Таблица 4.3. Ионный сток реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за многоводные годы за периоды открытого и закрытого русла

Период	Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Ионный сток	
		С средняя за период, мг/л	Модуль стока, т/км <sup>2</sup>
Период открытого русла	1961 - 63700	76,1	63,0
	1974 - 43200	157,0	88,2
Период закрытого русла	1961 - 2700	333,2	11,8
	1974 - 1600	408,9	8,7



Рис.4.1. Модуль ионного стока реки Лены за средневодный год за периоды открытого и закрытого русла

Из таблиц и диаграмм, представленных выше, видно, что модуль стока имеет сезонную изменчивость: в период открытого русла величина модуля больше в 2-10 раза, чем в период закрытого русла. Несмотря на то, что средние значения концентрации за период открытого русла меньше, чем за период закрытого за счет процессов разбавления, модули ионного стока получаются выше за счет больших расходов в период открытого русла, т.е. большей водности. При этом для многоводных лет модуль ионного стока максимальный – примерно в 2 раза больше в период открытого русла по сравнению с маловодными и средневодными годами. Если выявлять общее закономерности изменения модуля стока, то его значение будет больше, если в период открытого русла средняя минерализация будет больше. Для периода закрытой воды такой закономерности не наблюдается, т.к. сток практически отсутствуют и, следовательно, величина ионного стока меньше.

#### *4.2. Сток биогенных веществ*

Сток биогенных элементов определялся по таким показателям как железо, кремний, соединения азота и фосфора. Из соединений азота брались концентрации аммонийного, нитратного и общего азота. Сток нитритного азота не считался, т.к. его содержание в воде находилось ниже порога обнаружения. Также не для всех исследуемых лет были данные по содержанию всего выбранного перечня биогенных веществ. Данные по аммонийному азоту отсутствовали для 60-х годов (1961 – многоводный, 1968 – средневодный, 1969 - маловодный), для 1974 (многоводный) и для 1973 года (маловодный). Данные по общему азоту были только для двух лет средней водности -1971 и 1984. Для 1985 не было информации по содержанию железа. Для 1982 (многоводный) года отсутствуют данные практически по всем биогенным веществам, кроме аммонийного азота, который имеется только за период открытой воды. В табл.4.4. - 4.5. представлены полученные значения модуля стока биогенных веществ для маловодных и многоводных лет. На рисунке 4.2. представлены модули стока нитратного азота для средневодного

1984 годы по которому были выявлены наибольшие отличия в период закрытого русла.

Таблица 4.4. Сток биогенных веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за годы малой водности за периоды открытого и закрытого русла

Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Элемент	С средняя за период, мг/л	Модуль стока, кг/км <sup>2</sup>
Период открытого русла			
1969 - 39000	Нитратный азот	0,08	41,5
	Фосфор минеральный	0,0003	0,2
	Железо	0,02	10,2
	Кремний	0,002	1,2
1973 - 47800	Фосфор минеральный	0,001	0,4
	Железо	0,02	10,4
	Кремний	0,003	1,8
1985 - 35600	Аммонийный азот	0,13	57,9
	Нитратный азот	0,19	85,7
	Фосфор минеральный	0,042	19,3
	Кремний	0,002	1,1
Период закрытого русла			
1969 - 940	Фосфор минеральный	0,001	0,01
	Железо	0,01	0,1
	Кремний	0,003	0,04
1973 - 4300	Фосфор минеральный	0,023	1,3
	Железо	0,01	6,0
	Кремний	0,006	0,3
1985 - 9600	Аммонийный азот	0,20	24,9
	Нитратный азот	0,17	21,2
	Фосфор минеральный	0,010	1,2
	Кремний	0,012	1,5

Таблица 4.5. Сток биогенных веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за многоводные годы за периоды открытого и закрытого русла

Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Элемент	С средняя за период, мг/л	Модуль стока, кг/км <sup>2</sup>
Период открытого русла			
1961 - 63700	Нитратный азот	0,10	82,8
	Фосфор минеральный	0,033	27,6
	Железо	0,08	64,2
	Кремний	0,003	2,5
1974 - 43200	Фосфор минеральный	0,012	6,6
	Железо	0,02	12,0
	Кремний	0,002	1,2
1982 - 31500	Аммонийный азот	0,03	13,7
Период закрытого русла			
1961 - 2700	Нитратный азот	0,53	18,6
	Фосфор минеральный	0,041	1,43
	Железо	0,02	0,7
	Кремний	0,002	0,06
1974 - 1600	Фосфор минеральный	0,025	0,1
	Железо	0,003	1,1
	Кремний	0,001	0,02

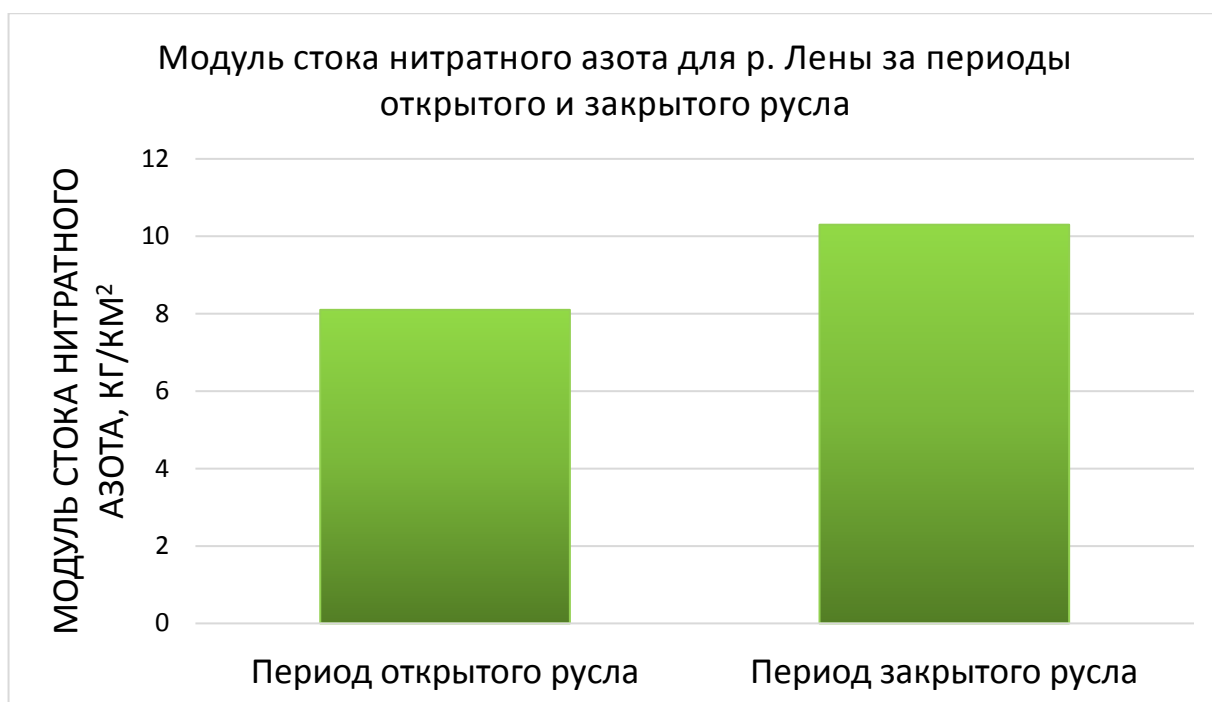


Рис.4.2. Модуль стока нитратного азота реки Лены за средневодный год за периоды открытого и закрытого русла

В таблицах, представленных выше видно повышение в содержании аммонийного, нитратного и общего азота в период открытого русла примерно в 2 - 4 раза для всех лет разной водности, за счет падения концентрации и увеличения водности. Существенное отличие наблюдается для нитратного азота (Рис.4.2): модуль стока нитратного азота в период закрытой воды больше за счет усиления грунтового питания, в результате которого происходит быстрое накопления азота и, следовательно, повышение концентрации нитратного азота в воде, что в свою очередь является более весомым фактором для изменения модуля стока, чем водность.

Содержания фосфора минерального уменьшается в периоды закрытой воды в 10 – 20 раз для маловодных лет и в 4 - 10 раз для многоводных и средневодных за счет уменьшения содержания фосфора в воде в этот период. Отличие отмечается в 1973 году. В этот год в период закрытой воды наоборот идет увеличение в несколько раз, что можно объяснить недостаточностью количества отобранных проб за этот период – 1 раз за период, что может давать погрешность в расчетах.



Для стока железа характерно увеличение его содержания в период открытого русла для всех лет, что связано с химическим выветриванием. Также отмечаются высокие значения модуля стока железа за 1984 год, что может связано с усиленным влиянием болот или таянием многолетней мерзлоты из-за потепления климата.

Модуль стока кремния увеличивается в среднем в 2 раза в период открытой воды для всех лет, так как он перестает активно потребляться организмами, живущими в воде и его концентрация незначительно увеличивается.

Были выявлены общие закономерности изменения модуля стока: если идет увеличение концентрации и водности, то модуль увеличивается многократно, если концентрация вещества уменьшается, а водность увеличивается, то модуль увеличивается не так значительно.

#### *4.3. Сток органических веществ*

Сток органических веществ считался по содержанию углерода. За содержание углерода был принят показатель перманганатной окисляемости или ПО ( $K=1$ ). Для 80-х годов (1982, 1984, 1985) отсутствовали данные по ПО, поэтому использовалась бихроматная окисляемость в пересчете на перманганатную ( $K=0,75$ ).

В таблицах 4.6. – 4.7 представлен сток органических веществ за маловодные и многоводные годы для створа Кюсюр. На рисунке 4.3. изображена диаграмма, показывающая модуль стока органического вещества за средневодный год – 1984.

Таблица 4.6. Сток органических веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за годы малой водности за периоды открытого и закрытого русла

Период	Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Сток органических веществ	
		С средняя за период, мг/л	Модуль стока, Т/км <sup>2</sup>
Период открытого русла	1969 - 39100	4,9	2,5
	1973 - 47800	6,2	3,9
	1985 - 35600	13,0	6,0
Период закрытого русла	1969 - 940	3,7	0,04
	1973 - 4300	15,2	0,8
	1985 - 9600	14,7	1,8

Таблица 4.7. Сток органических веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за многоводные годы за периоды открытого и закрытого русла

Период	Год – Расход средний за период, м <sup>3</sup> /с	Сток органических веществ	
		С средняя за период, мг/л	Модуль стока, т/км <sup>2</sup>
Период открытого русла	1961 – 63700	19,8	16,4
	1974 – 43200	5,5	3,1
	1982 – 31500	8,8	3,6
Период закрытого русла	1961 – 2700	11,9	0,4
	1974 – 1600	3,5	0,07
	1982 – 3000	6,8	0,3

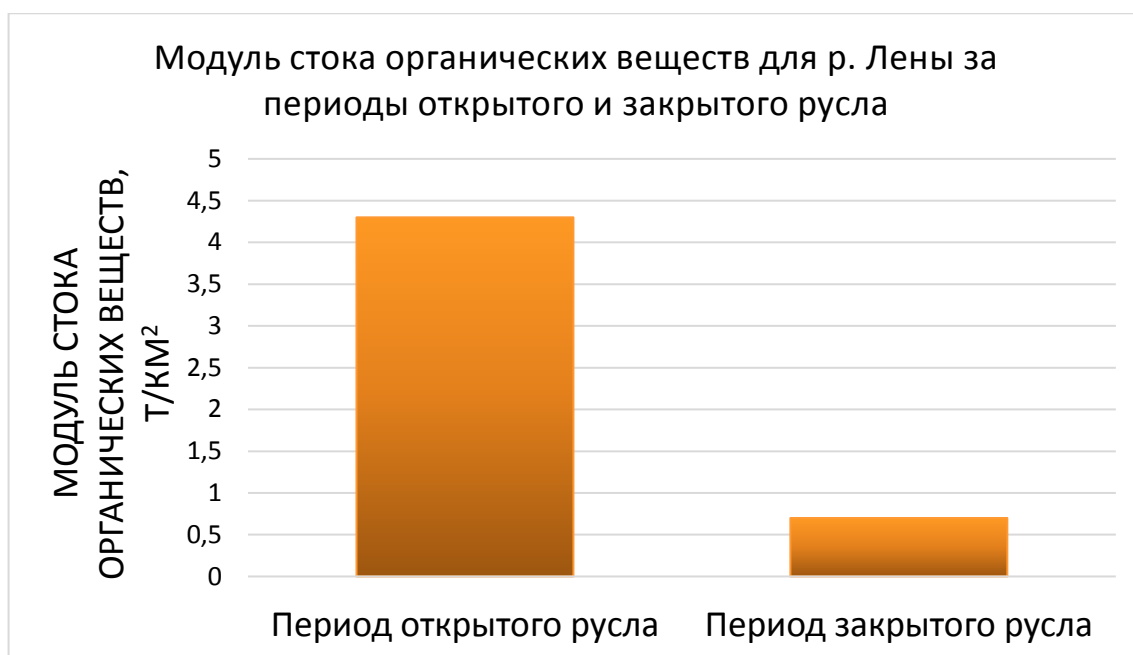


Рис.4.3. Модуль стока органического вещества реки Лены за средневодный год за периоды открытого и закрытого русла

Для всех исследуемых лет модуль стока органических веществ увеличивается в период открытой воды в десятки раз из-за увеличения водности, в период закрытого русла идет уменьшение концентрации и модуль стока падает. Сток органических веществ зависит от величины расходов, поэтому даже для лет одинаковой водности, особенно для лет малой водности, наблюдаются отличия в 2 - 4 раза в величине модулей.

#### 4.4. Сток взвешенных веществ

Данные по количеству взвешенных веществ есть только для 80-х годов. В таблице 4.8. – 4.9. представлены модули стока взвешенных веществ за маловодные и многоводные годы 80-х гг. На рисунке 4.4. представлены модули стока взвешенных веществ за средневодный год за период открытого и закрытого русла – 1984.

Таблица 4.8. Сток взвешенных веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за год малой водности за периоды открытого и закрытого русла

Период	Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Сток взвешенных веществ	
		Средняя за период, мг/л	Модуль стока, т/км <sup>2</sup>
Период открытого русла	1985 - 35600	9,8	4,5
Период закрытого русла	1985 - 9600	1,0	0,1

Таблица 4.9. Сток взвешенных веществ реки Лена по замыкающему створу за многоводный год за периоды открытого и закрытого русла

Период	Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Сток взвешенных веществ	
		Средняя за период, мг/л	Модуль стока, т/км <sup>2</sup>
Период открытого русла	1982 – 31500	2,8	1,1
Период закрытого русла	1982 – 3000	3,3	0,1

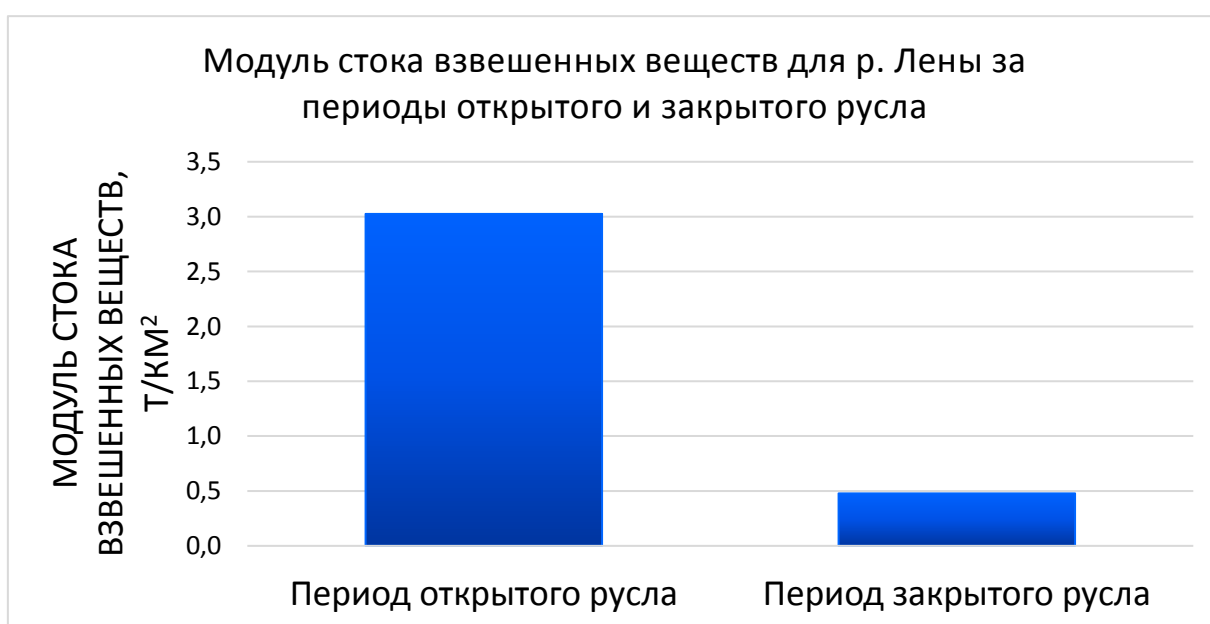


Рис.4.4. Модуль стока взвешенных веществ реки Лены за средневодный за периоды открытого и закрытого русла

Модуль стока взвешенных веществ увеличивается в периоды открытого русла в 9-10 раз - для средневодных и многоводных лет, и в 40 раз - для маловодного года. Это может быть связано с тем, что и сами взвешенные вещества в период открытого русла увеличиваются по сравнению с периодом закрытого русла за счет увеличения расходов воды с началом половодья, из чего следует повышение количества переносимых взвешенных веществ водой.

#### 4.5. Сток загрязняющих веществ

Сток загрязняющих веществ считался только для 80-х годов по содержанию нефтепродуктов, фенолов, меди и цинка. Для 1982 и 1985 отсутствовали данные по меди и цинку. В таблице 4.10. – 4.11. представлены данные по стоку загрязняющих веществ для маловодного и многоводного годов за периоды открытого и закрытого русла для с. Кюсюр. На рисунке 4.5. представлены модули стока нефтепродуктов за средневодный 1984 год за периоды открытого и закрытого русла.

Таблица 4.10. Сток загрязняющих веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за маловодный год за периоды открытого и закрытого русла

Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Элемент	Средняя за период, мг/л	Модуль стока, кг/км <sup>2</sup>
Период открытого русла			
1985 - 35600	Нефтепродукты	0,03	11,6
	Фенолы	0,005	2,3
Период закрытого русла			
1985 - 9600	Нефтепродукты	0,00	0,0
	Фенолы	0,001	0,1

Таблица 4.11. Сток загрязняющих веществ реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за многоводный год за периоды открытого и закрытого русла

Год – Средний расход за период, м <sup>3</sup> /с	Элемент	С средняя за период, мг/л	Модуль стока, кг/км <sup>2</sup>
Период открытого русла			
1982 - 31500	Нефтепродукты	0,09	37,8
	Фенолы	0,001	0,2
Период закрытого русла			
1982 - 3000	Нефтепродукты	0,04	1,4
	Фенолы	0,001	0,03

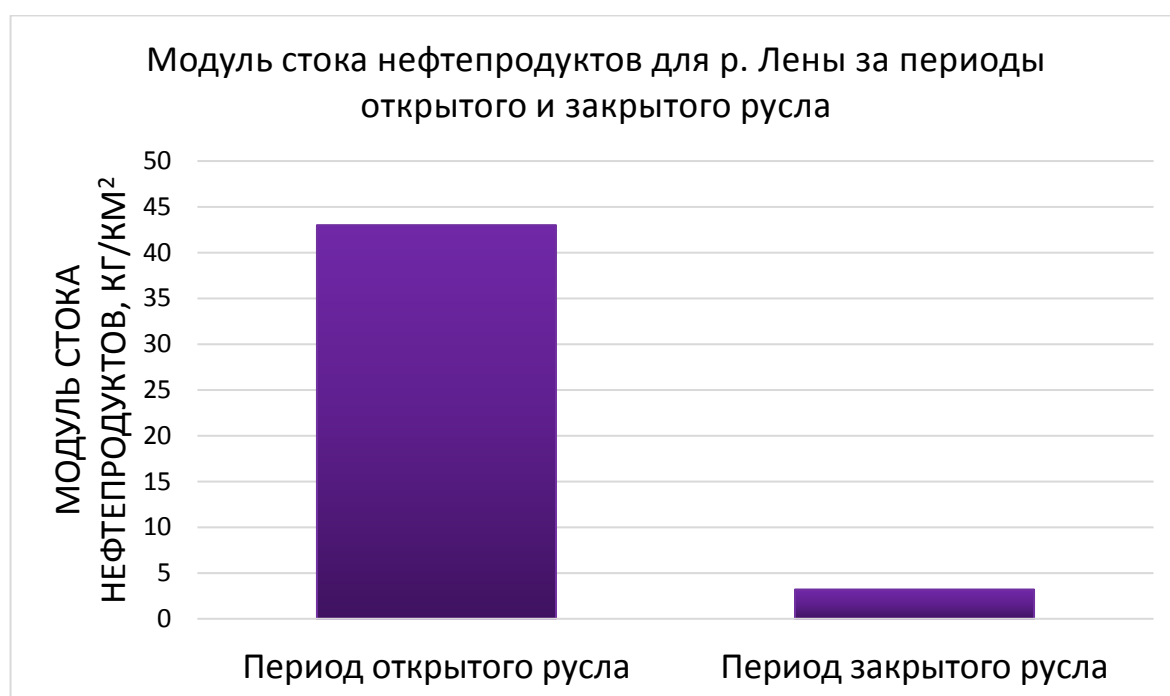


Рис.4.5. Модуль стока нефтепродуктов реки Лены за периоды открытого и закрытого русла для средневодного года

Модуль стока меди увеличивается в период открытого русла в 2 раза по сравнению с периодом закрытого русла, несмотря на то, что само содержание меди в период открытого русла устойчиво снижается за счет половодья. Увеличение модуля стока меди в период открытой воды связано с тем, что с водосбора идет загрязнение поверхностным стоком. Из чего следует, что на

модуль стока меди большее влияние оказывают повышенные расходы воды, которые и приносят медьсодержащие вещества с водосборной территории.

Модуль цинка практически не изменился. Модуль стока нефтепродуктов наибольший в период открытого русла за счет того, что сброс сточных вод происходит именно в этот период. В период закрытого русла сток реки практически отсутствует и модуль нефтепродуктов может стать равным нулю, что и было отмечено для маловодного года. По содержанию нефтепродуктам не наблюдаются превышения по ПДК.

Модуль стока фенолов ниже в 10 раз в период закрытого русла, чем в период открытого русла, за счет того, что сброс отработанных вод происходит, когда русло открытое.

#### *4.6. Многолетняя изменчивость гидрохимического стока реки Лены*

Многолетняя изменчивость стока для всего исследуемого периода проводилась по общим показателям гидрохимического стока: ионный, органический и биогенный сток. Для выявления многолетней изменчивости стока приведена сводная таблица 4.12. сравнивающая значения полученных модулей стока за 1960-е, 70-е и 80-е гг.

Таблица 4.12. Геохимический сток реки Лена по замыкающему створу (Кюсюр) за период 1960-80-х гг.

Створ - Среднеголетний расход, м <sup>3</sup> /с	Сток	Элемент	С среднеголетняя, мг/л	Модуль стока
1960-е				
Кюсюр -17100	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	141,0	31,3
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	9,3	2,1
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,17	37,3
		Минеральный фосфор	0,010	2,2
		Железо	0,03	6,0
		Кремний	0,003	0,6
1970-е				
Кюсюр -16000	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	156,6	32,6
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	6,4	2,6
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,14	29,4
		Минеральный фосфор	0,008	1,7
		Железо	0,03	5,7
		Кремний	0,003	0,5
1980-е				
Кюсюр -17300	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	113,8	25,6
	Сток органического вещества, т/км <sup>2</sup>	Углерод	8,9	2,0
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Нитратный азот	0,11	25,1
		Минеральный фосфор	0,025	1,2
		Железо	0,66	147,7
		Кремний	0,002	0,5

Для модуля ионного стока прослеживается уменьшение со временем. На изменение величины модуля ионного стока влияет водность года и значение



минерализации. Чем больше минерализация и меньше расходы воды, тем больше величина ионного стока, если же минерализация станет меньше и, следовательно, расходы будут больше, то модуль ионного стока уменьшится.

Модуль стока органического вещества не сильно изменяется за период 1960-80-х годов, только наблюдается увеличение модуля на 25 % за 70-е годы за счет уменьшения водности.

Модуль стока биогенных элементов в среднем уменьшается на 10 %. Модуль стока нитратного азота уменьшился практически на 50 % с 1960-х по 80-е. Модуль стока фосфора также, как и азот уменьшился в половину. Модуль железа практически не изменился за период с 1960-70-е годы, но за последний период 80-х годов заметно резкое увеличение модуля стока железа в сотни раз за счет высокого содержания железа в воде в это период. Средняя концентрация железа за 80-е годы превышает ПДК в 2 раза, что может быть вызвано либо антропогенным загрязнением, либо усиленным химическим выветриванием. Модуль стока кремния не изменился со временем.

#### *4.7. Сопоставление модулей геохимического стока с современными литературными данными. Анализ изменчивости стока растворенных веществ в многолетнем плане.*

Анализ изменчивости геохимического стока в многолетнем плане проводился путем сопоставления рассчитанных данных по модулю стока за 60-е, 70-е и 80-е гг. по створу Кюсюр и по современным данным, полученные Никаноровым (Никаноров...2011). В его работе были получены значения ионного стока, стока биогенных элементов и стока загрязняющих веществ путем осреднения концентраций растворенных веществ за 2005-2009 гг. Геохимический сток для 60-х годов был представлен ранее в табл. 3.1, для 70-х – в табл.3.2. и для 80-х – в табл.4.1. Сопоставление гидрохимического стока по исследуемому периоду с 1960-х по 1980-е годы представлен был ранее в табл. 4.12. Гидрохимический сток для современного периода с 2005-2009 гг.

брался по литературным данным (Никаноров...2011) и представлен в табл. 4.13.

Таблица 4.13. Гидрохимический сток для современного периода - с. Кюсюр по литературным данным (Никаноров...2011)

Створ - Среднегодовое расход, м <sup>3</sup> /с	Сток	Элемент	С среднегодовое, мг/л	Модуль стока
Кюсюр -20800	Ионный сток, т/км <sup>2</sup>	Минерализация	97	26,2
	Сток биогенных элементов, кг/км <sup>2</sup>	Аммонийный азот	0,06	14,9
		Нитратный азот	0,04	9,5
		Общий азот	0,095	25,6
		Минеральный фосфор	0,009	2,4
		Железо	0,21	56,8
	Сток загрязняющих веществ, кг/км <sup>2</sup>	Медь	0,0065	1,0
		Цинк	0,0038	1,8
		Нефтепродукты	0,06	16,2
		Фенолы летучие	0,002	0,5

Величина модуля ионного стока за 60-е и 70-е и 80-е гг. в среднем составляла около 31 т/км<sup>2</sup>. За 80-е годы и за современный период модуль в среднем уменьшился – 26 т/км<sup>2</sup>. Снижение модуля ионного стока происходит за счет снижения минерализации на 20 %

Модуль стока аммонийного и нитратного азота уменьшается со временем в 2 – 5 раз. Если рассматривать модуль общего азота, то для всех рассматриваемых периодов его величина не сильно изменяется (25 - 29 т/км<sup>2</sup>). Это связано с увеличением среднегодового расхода и из-за чего происходит разбавление вод и, следовательно, уменьшение концентраций азота.

Для модуля стока минерального фосфора сначала прослеживается тенденция к уменьшению (2,2 – 1,2 т/км<sup>2</sup>), а к современному периоду – увеличение. (1,2 – 2,4 т/км<sup>2</sup>), что может быть связано с увеличением концентрации фосфора в современный период.

Модуль железа значительно вырос в 80-е гг. и современный период в 10 – 30 раз, что может быть объяснено естественными факторами, а именно: увеличением среднемноголетнего расхода, усилением размыва берегов и поступлением железосодержащих веществ с водосбора; усилением химического выветривания.

Прослеживается уменьшение модуля меди и цинка в 1,5 - 2 раза со временем за счет увеличения среднемноголетних расходов. Величина стока нефтепродуктов увеличилась в 1,5 раза за счет увеличения сброса загрязняющих веществ в реку в последние годы. Значение фенолов осталось прежним – 0,5 т/км<sup>2</sup>, что говорит о том, что увеличение сброса загрязняющих веществ не происходило.

Сопоставление полученных в данной работе модулей стока с литературными показывают, что порядок компонентов совпадают, но для модулей стока по современным данным отмечается тенденция к снижению, кроме модуля нефтепродуктов. Увеличение стока нефтепродуктов происходит за счет увеличения сброса сточных вод в русле реки в современный период.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе обобщенных кадастровых данных Государственной службы наблюдений установлены следующие закономерности для пространственной и временной изменчивости геохимического стока реки Лены:

- Увеличение ионного стока, стока органического вещества и стока биогенных элементов в нижнем течении по сравнению со средним течением около 50 %
- Уменьшение на 20-30 % ионного стока и стока биогенных веществ в 1960-е годы по сравнению с 80-ми
- Сток органического вещества не изменился в период с 1960-х по 1980-е годы

На основе статистической обработки гидрохимических данных за периоды открытого и закрытого русла установлены следующие закономерности внутригодовой изменчивости стока химических веществ по замыкающему створу реки Лены:

- Ионный сток, сток органического вещества в период открытого русла по сравнению с периодом закрытого русла увеличивается в среднем на 60 %; увеличение стока биогенных элементов составило 40%; увеличение стока загрязняющих веществ и взвешенных веществ на 90%
- В период открытого русла установлено уменьшение нитратного азота на 20% по сравнению с закрытым

На основе сопоставления с современными (2005-2009 гг.) литературными данным с полученными нами стоковыми характеристиками за период 1960-80-х годов установлено, что в современный период происходит уменьшение (на 50%) стока химических веществ (минерализации, нитратного азота, меди и цинка) и увеличение стока минерального фосфора и нефтепродуктов в современный период по сравнению с предшествующим составляет около 50%.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## Библиографический список

1. *Алексеевский Н.И.* Геоэкологическое состояние арктического побережья и безопасность природопользования.-М.:ГЕОС,2007.585 с. + 40 с. Цв. Вкл.
2. *Вода России. Речные бассейны/* Под ред. А.М. Черняева. Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2000. 536 с.
3. *Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза.* Л.: Гидрометеиздат, 1967. 200 с.
4. *Гидрологический ежегодник*,Т.1,вып. 17.Лено-Индигирский район Гидрометеиздат, 1961; 1968; 1969; 1971; 1973, 1974, 1982; 1984; 1985; 1988
5. *Ежегодные данные о качестве поверхностных вод*,Т.5.Бассейн Моря Лаптевых, Т.5, Гидрометеиздат, 1985; 1986; 1989
6. *Заславская М.Б., Ефимова Л.Е* Природная и техногенная изменчивость стока растворенных веществ из кн. Геоэкологическое состояние арктического побережья.,2007
7. *Заславская М.Б., Ефимова Л. Е.* Ионный сток и сток главных ионов из кн. Геоэкологическое состояние арктического побережья.,2007
8. *Никаноров А.М., Брызгалов В., Косменко Л.С, КондаковаМ.Ю., Решетняк О.С.* Антропогенная нагрузка на устья рек Российской Арктики из кн. Полярная криосфера и воды суши. – М.: Paulse, 2011 – 320 с.
9. *Никаноров А.М.* Региональная гидрохимия: Учебное пособие. – Ростов/Д:Изд-во «НОК», 2011. – 388 с.
- 10.*Ресурсы поверхностных вод СССР*, Т.16. Гидрометеиздат, 1972

## Ресурсы сети Интернет

11. <http://grdc.bafg.de>