



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

**Построение цифровой модели русла и изучение
водного режима реки Пур в верховьях для**

На тему **обеспечения судоходства**

Исполнитель _____ **Беликов Илья Александрович**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ **кандидат ф.-м. наук**
(ученая степень, ученое звание)

_____ **Саноцкая Надежда Александровна**
(фамилия, имя, отчество)

Консультант _____
(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

_____ 
(подпись)

_____ **кандидат географических наук, доцент**
(ученая степень, ученое звание)

_____ **Исаев Дмитрий Игоревич**
(фамилия, имя, отчество)

«13» июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 2 |
| 1 ГАБАРИТЫ ПУТИ И МЕТОДЫ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ | 4 |
| 1.1 Нормирование габаритных размеров судового хода | 4 |
| 1.2 Мероприятия для поддержания и улучшения судоходных условий на водных путях | 5 |
| 2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ р. ПУР | 7 |
| 2.1 Природные условия | 7 |
| 2.1.1 Рельеф..... | 7 |
| 2.1.2 Геологическое строение и почвы..... | 9 |
| 2.1.3 Растительность | 10 |
| 2.1.4 Антропогенная деятельность в водосборе реки Пур | 12 |
| 2.2 Климатическая характеристика региона | 13 |
| 2.2.1 Радиационный баланс | 13 |
| 2.2.2 Температурный режим..... | 14 |
| 2.2.3 Режим атмосферных осадков | 16 |
| 2.2.4 Ветры..... | 18 |
| 2.3 Водный режим реки | 18 |
| 2.3.1 Гидрометеорологическая изученность..... | 18 |
| 2.3.2 Гидрографическая характеристика..... | 20 |
| 2.3.3 Водный и уровенный режимы | 22 |
| 2.3.4 Ледовый режим | 24 |
| 2.3.5 Сток наносов..... | 25 |
| 3 РАСЧЕТ ОБЕСПЕЧЕННЫХ УРОВНЕЙ, Р.ПУР – Г.ТАРКО-САЛЕ..... | 26 |
| 3.1 Расчет максимальных обеспеченных уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале..... | 26 |
| 3.2 Расчет минимальных обеспеченных уровней воды за летне-осенний период, р.Пур – г.Тарко-Сале | 31 |
| 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОХОДНОГО УЧАСТКА В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ ПУР | 36 |
| 4.1 Общие сведения о моделировании..... | 36 |
| 4.2 Построение модели участка верховья реки Пур..... | 37 |
| 4.3 Анализ ЦМР..... | 39 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 44 |

ВВЕДЕНИЕ

Реки и озера являются древнейшими транспортными коммуникациями, и в настоящее время, созданные природой водные пути не утратили своего экономического значения. Искусственные водные пути – каналы и шлюзованные системы получили распространение лишь в последние одно-два столетия и, несмотря на интенсивность развития, составляют по длине небольшую долю всего протяжения водных путей.

Россия является самой богатой страной мира по своим водным ресурсам, в состав ее речной сети входят около 780 тыс. водотоков. Однако реки в их естественном состоянии не пригодны для судоходства без проведения на них путевых работ. Простейший вид таких работ – это очистка водного пути от препятствий и оснащение его судоходной обстановкой. Неравномерность глубин в реках резко ограничивает судоходство. Поэтому главная задача путевых работ – углубление судового хода. На нешлюзованных реках это достигается путем дноуглубления и выправления русел рек. Эффективными такие виды работ могут быть только при правильном учете динамики русловых процессов.

Решение инженерных задач, связанных с вопросами обеспечения судоходства, невозможно без знания гидрологии, теории движения наносов, вопросов деформации русел, экологических последствий проведения землечерпания. Ввиду сложности проблем все эти вопросы окончательно не решены до настоящего времени, однако гидротехникой накоплен достаточный опыт, позволяющий дать конкретные рекомендации инженерам-строителям.

Компьютерное моделирование в нашей стране имеет массу проблем, связанных и с недостаточным финансированием и труднодоступностью компьютерных программ отечественного производства. Однако компьютерное моделирование во всем мире в целом развивается очень быстро. Разрабатываются все новые программные комплексы с более широкими возможностями моделирования.

Целью работы является оценка актуальности использования моделирования для обеспечения судоходства на водных путях.

Главной задачей работы является освещение методики по получению графической модели участка в верховьях реки Пур, с дальнейшим анализом полученной модели.

Объектом исследования является участок реки Пур в его верховьях.

Работа включает в себя 4 раздела, в первом разделе освещаются общие сведения о судоходстве и методах его обеспечения.

Второй раздел посвящен физико-географической характеристике района исследования.

В третьем разделе проводится расчет обеспеченных уровней воды на реке Пур.

Четвертый раздел посвящен методу построения цифровой модели рельефа участка реки и дальнейший анализ модели.

1 ГАБАРИТЫ ПУТИ И МЕТОДЫ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1.1 Нормирование габаритных размеров судового хода

Судовой ход – водное пространство, ограниченное определенными габаритами и обозначенное на местности знаками судоходной обстановки.

Для движения судов необходимо пространство, определяющееся глубиной и шириной русла. Так же судовой ход характеризуется помимо ширины и глубины, минимальным радиусом кривизны, судовой ход не должен иметь резких поворотов. Также для судоходства в местах пересечения реки мостами или линиями электропередачи требуется свободное пространство над уровнем воды. Все эти элементы называются габаритами судового хода.

Условия судоходства на водных путях помимо габаритов характеризуются также ветроволновым режимом, скоростью и направлением течения.

Единой классификации внутренних водных путей по их значимости для всех видов деятельности нет. Но существуют классификации наиболее полно отражающих большое число характеристик внутренних водных путей, например классификация представленная в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация внутренних водных путей.

| Класс внутреннего водного пути | Гарантированная глубина судового хода h_r , м | Ширина судового хода b_r , м | Радиус закругления r , м |
|--------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| I (сверхмагистральные) | $> 3,2$ | 100–85 | 1000–600 |
| II (магистральные) | 2,5–3,2 | 75–70 | 600–350 |
| III (магистральные) | 1,9–2,5 | 75–70 | 600–350 |
| IV (магистральные) | 1,5–1,9 | 50–40 | 300–200 |
| V (местного значения) | 1,1–1,5 | 50–40 | 300–200 |
| VI (местного значения) | 0,7–1,1 | 20–14 | 120–90 |
| VII (местного значения) | 0,5–0,7 | 20–14 | 120–90 |

Габариты судовых ходов по глубине и ширине устанавливаются как минимальные, так и дифференцированные, в зависимости от уровня воды.

Габариты судового хода, которые должны быть обеспечены в течение всего периода навигации, называются гарантированными габаритами судового хода.

Минимальные габариты судового хода определяют типы и размеры судов, пригодных для плавания на данном участке. Основные размеры судов – осадка, ширина, длина, высота надводного борта с надстройками – должны быть меньше минимальных габаритов судового хода для того, чтобы обеспечить сохранность корпусов и механизмов судов, а также сооружений. Величины запаса по глубине и ширине определяются Правилами плавания по внутренним судоходным путям Российской Федерации. Минимальный запас по глубине зависит от характера грунта (песок, камень), типа судна (самоходные и несамоходные), рода груза (нефтепродукты, сухогрузы), глубины судового хода и составляет от 5 до 40 см. Запас по ширине должен обеспечивать возможность маневрирования судов в пределах судового хода и расхождения судов. Максимальная длина судов и составов лимитируется минимальным радиусом кривизны судового хода. Запасы по высоте зависят от типа надводного перехода (линия электропередачи, линия связи, мост). Они устанавливаются в зависимости от класса внутреннего водного пути.

Габариты судовых ходов рассчитываются и регулярно обновляются Министерством транспорта Российской Федерации.

Для реки Пур габаритные характеристики приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Габаритные характеристики судового хода на реке Пур

| Наименование водного пути | Протяженность, км | Гарант. глубина, м | Гарант. ширина, м | Гарант. радиус, м | Продолжит. навигации, дней |
|---------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| Река Пур | 256 км | 1.2 | 30 | 200 | 122 |

1.2 Мероприятия для поддержания и улучшения судоходных условий на водных путях

Для поддержания и улучшения судоходных условий на водных путях проводят следующие мероприятия:

– траление – это проверка чистоты судовых ходов и обнаружение подводных препятствий, представляющих опасность для плавающих судов.;

– руслоочищение – это удаление из русла реки (со дна – дноочищение и с берегов – берегоочищение) различных предметов – карчей, топляков, камней, якорей, затонувших судов, представляющих опасность для судоходства;

– землечерпание – это работа по углублению затрудненных для судоходства участков путем разработки судоходных прорезей в русле реки землечерпательными снарядами (земснарядами);

– скалоуборочные работы – состоят из дробления скалы, подъема и удаления раздробленных камней и проводятся с целью углубления и расширения существующих судовых ходов или создания новых судоходных трасс;

– выправление – это строительство в русле реки сооружений, под влиянием которых энергия речного потока используется для размыва мелких мест русла, перемещения наносов и их отложения в более глубоких местах – плесовых лощинах;

– оснащение пути судоходной обстановкой – обеспечение и создание системы навигационных знаков (береговых и плавучих) для обозначения на местности положения судового хода и отдельных препятствий, опасных для судоходства.

Систематически проводимые дноуглубительные работы позволяют обеспечить рост гарантированных глубин на свободных реках.

Кроме производства различных видов путевых работ на внутренних водных путях, коренное улучшение судоходных условий может быть достигнуто в результате регулирования стока рек. Регулирование стока заключается в изменении режима уровней воды путем строительства плотин на реках и создания водохранилищ для сбора паводковых вод, которые затем расходуются в период межени.

2 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ р. ПУР

2.1 Природные условия

2.1.1 Рельеф

Река Пур образуется от слияния рек Пякупур и Айваседапур, протекает по северной части Западно-Сибирской низменности и впадает в Тазовскую губу Карского моря. Длина реки Пур 394 км; вместе с рекой Пякупур и ее притоком рекой Янгьягун – 1024 км (длина реки от той точки, от которой начинается самый длинный водный поток речной системы), площадь водосбора 112 000 кв.км, коэффициент извилистости 1.4. Общее падение реки Пур составляет 21 м, уклон реки небольшой и равен 0,054 ‰.

Бассейн реки Пур характеризуется незначительными абсолютными отметками с наибольшим понижением высот в долине реки. Абсолютные отметки высот колеблются здесь в пределах от 15-20 м до 50 м. А так же плоским рельефом местности, малым уклоном с юга на север, многочисленными озерами и сильной заболоченностью. Пойма реки преимущественно двусторонняя, изобилует старицами и озерами. Долина реки имеет ширину 5 – 10 км в верхнем течении, 10 – 12 км в среднем и 20 – 25 км в нижнем течении. Русло реки подвержено значительным переформированиям, особенно во время половодья. Здесь имеется много островов, осередков, побочней и кос. Ширина русла 400 – 700 м.



Рисунок 2.1 – Рельеф

Берега реки преимущественно низкие, сложены из песчаных пород, легко подвергаются размыву. Вогнутые берега обычно обрывистые, высота их до 3 м; выпуклые берега пологие, более низкие. На отдельных участках высота берегов достигает 15 – 20 м. На устьевом участке река Пур образует многорукавную дельту. Для судоходства используется лишь один из рукавов. На выходе из реки в Тазовскую губу имеется бар.

2.1.2 Геологическое строение и почвы

Характерной особенностью района, где протекает река Пур, является вечная мерзлота, оказывающая непосредственное влияние на формирование почв.

В Пуровском районе многолетнемёрзлые грунты встречаются островами, преимущественно в низинах, севернее 61° с.ш. все осадочные породы – торф, пески, суглинки, глины – находятся в мерзлотном состоянии, а севернее 66° с.ш. мерзлота становится сплошной.

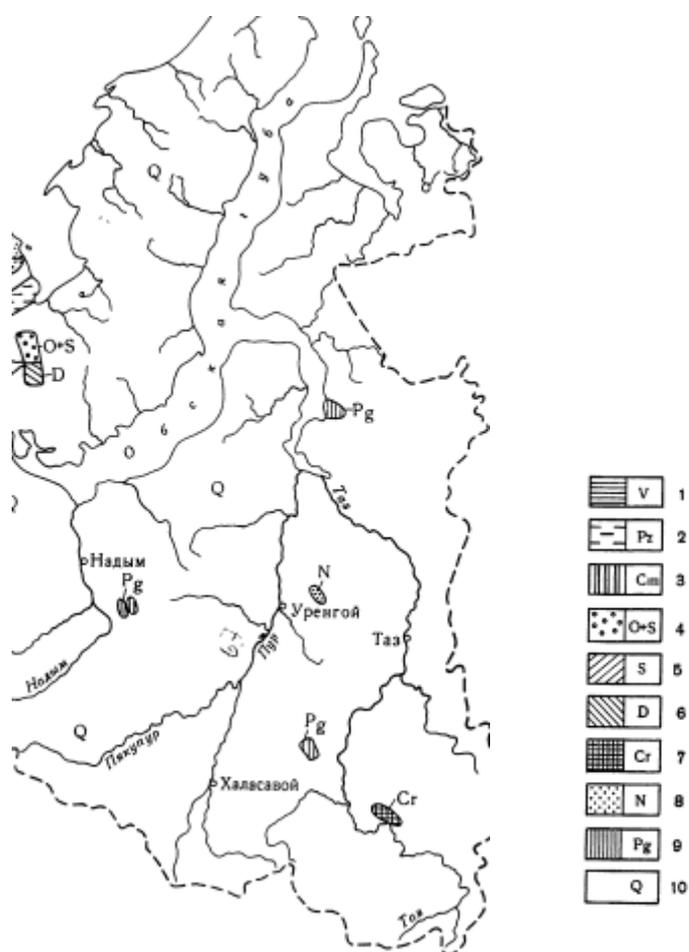


Рисунок 2.2 – Геологическое строение района

1 – интрузивные породы, 2 – палеозойские отложения, 3 – кембрийские отложения, 4 – ордовикские и селурийские отложения, 5 – селурийские отложения, 6 – девонские отложения, 7 – меловые отложения, 8 –

палеогеновые отложения, 9 – неогеновые отложения, 10 – четвертичные отложения.

Литогенная основа ландшафта представлена аллювиально-морскими, озерно-аллювиальными и аллювиальными четвертичными отложениями различного гранулометрического состава. В тундре и лесотундре развиты торфянисто-глеевые почвы. На севере лесной зоны преобладают болотные верховые почвы, которые южнее сменяются подзолами.

В бассейне реки Пур обнаружены и разрабатываются полезные ископаемые, основные из которых природный газ, газоконденсат и нефть. Также в долине Пура встречаются залежи строительных песков, глины, самоцветы – агат и сердолик.

2.1.3 Растительность

Река Пур протекает по территории двух природных зон – тундровой (южные субарктические тундры) и лесной (лесотундра, северная тайга). Большая часть реки находится в зоне северной тайги.

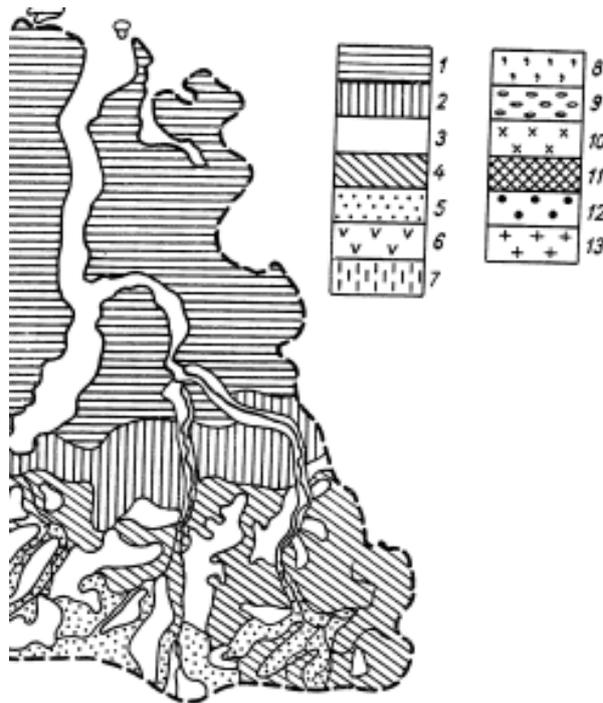


Рисунок 2.3 – Растительность бассейна р. Пур

1 – арктические пустыни и тундры, 2 – предтундровые редколесья, 3 – растительность речных долин и водораздельные болота, 4 – лиственничные северотаежные редкостойные леса, 5 – сосновые северотаежные леса, 6 – сосновые средне- и южнотаежные леса, 7 – темнохвойные южнотаежные сибирские леса, 8 – травяные низинные болота зоны лиственных лесов, 9 – западно–сибирские подтаежные леса, 10 – лесостепи, 11 – разнотравно-дерновиннозлаковые степи, 12 – горные тундры, 13 – горно-таежные темнохвойные леса.

Растительность в бассейне реки Пур неоднородна. На протяжении почти 160 км река протекает за Северным полярным кругом, поэтому в нижней части бассейна от устья Пура до поселка Самбург растительность представляет собой типичную кочкарную тундру, характеризующуюся безлесьем, где только по берегам встречается мелкий кустарник.

В верхнем течении реки Пур растительность представлена лиственничными кустарничковыми лишайниково-моховыми северотаежными

западносибирскими лесами из лиственницы сибирской и ели сибирской. Район, где протекает река Пур, сильно заболочен. В долине реки заболоченность составляет 40 %, а на водоразделах достигает 70 %.

2.1.4 Антропогенная деятельность в водосборе реки Пур

Река Пур имеет большое транспортное значение, так как местные перевозки почти на всей территории бассейна могут осуществляться только водным транспортом. В связи с открытием нефтегазовых месторождений в бассейне реки грузооборот значительно увеличился и транспортное значение Пура еще более возросло.

Главной отраслью экономической специализации Пуровского административного района ЯНАО, является разработка месторождений и добыча углеводородного сырья, проводимая на водосборе реки Пур.

Разрабатываемые месторождения нефти, газа, газового конденсата занимают в тундре, лесотундре и северной тайге Западной Сибири тысячи квадратных километров.

Одним из свидетельств огромной нагрузки нефтегазодобывающего комплекса на территорию Пуровского района, расположенного практически целиком в пределах водосбора Пура является то, что здесь добывается 12% всей российской нефти и 40% отечественного газа. Разведанные и разрабатываемые месторождения углеводородов, лицензионные участки занимают примерно 50% площади района. Причем, сфера влияния нефтяных и газовых промыслов не ограничивается только территорией месторождений. Расширение зон техногенного геохимического воздействия происходит при миграции загрязнителей с поверхностными водами за пределы промыслов.

Развивая нефте- и газодобычу, человек влияет на ландшафтные комплексы -природную основу любой территории. Изменяется ландшафтная структура водосборов малых рек – главных элементов региональной гидросети. Это приводит к количественным трансформациям стока, он начинает либо увеличиваться, либо уменьшаться, вызывая деградацию малых

водотоков. При техногенных воздействиях на гидросферу нарушается ход естественных процессов в природных водах, создаются предпосылки для общей трансформации качества водных ресурсов, что неминуемо приводит к неблагоприятным процессам в водах морей Северного Ледовитого океана. Пур относится к бассейну Карского моря и ежегодно выносит в него вместе с реками Таз и Обь сотни тысяч тонн загрязняющих веществ. Например, средний годовой вынос нефтепродуктов Пуром составляет 15,3 - 27,2 тыс. т, а концентрация нефтепродуктов в речных водах достигает 15 ПДК.

Высокие концентрации нефтепродуктов в речных водах ухудшают их качество, обостряя социальные проблемы, связанные с неблагоприятными изменениями в условиях жизни, в здоровье местного коренного и пришлого населения.

2.2 Климатическая характеристика региона

Западно-Сибирская равнина располагается почти на одинаковом удалении как от Атлантического океана, так и от центральной части континентального Азиатского материка. Климат формируется под воздействием этих центров погоды умеренно-континентальный. Протяженность территорий региона в южном направлении позволяет наблюдать ярко выраженную зональность распределения тепла и влаги.

Вследствие равнинности и открытости с севера и юга обеспечивается проникновение воздушных масс в глубь региона. Поэтому резкое изменение погодных условий характерно для данного региона.

2.2.1 Радиационный баланс

В теплое время года радиационный баланс повсеместно положительный с наибольшими показателями в июне – июле. Отрицательный баланс регулярно наблюдается с октября по март, с достижением минимальных величин в декабре – январе. Годовой радиационный баланс в северной части

Западно-Сибирской равнины составляет 20-22 ккал/см², на юге до 35-40 ккал/см².

Периоды положительного радиационного баланса составляют на севере территории от шести до семи месяцев, на юге – от семи до восьми месяцев.

Радиационный баланс в переходные сезоны существенно отличается в северных и южных частях территорий, а в летние и зимние периоды практически идентичен.

Максимальные средние месячные суммы радиационного баланса могут достигать в июне – июле (9,2 – 9,9 ккал/см²), а минимальные в ноябре – декабре (-1,3 – (-1,5) ккал/см²).

2.2.2 Температурный режим

Для температурного режима рассматриваемой территории характерны суровая продолжительная зима, сравнительно короткое, но жаркое лето, короткие переходные сезоны – весна и осень, поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период. Термический режим северной и северо-восточной частей территории очень суров. Холодное Карское море, являясь источником холода летом и сильных ветров зимой, увеличивает эту суровость. Средние годовые температуры в заполярной части составляют -8°, -11°С; на остальной части северной половины территории средние годовые температуры колеблются от -7 до -3°; в южной половине территории средние годовые температуры воздуха порядка 0 –2°. Наиболее теплыми являются юго-западные районы, наиболее холодными – северо-восточные.

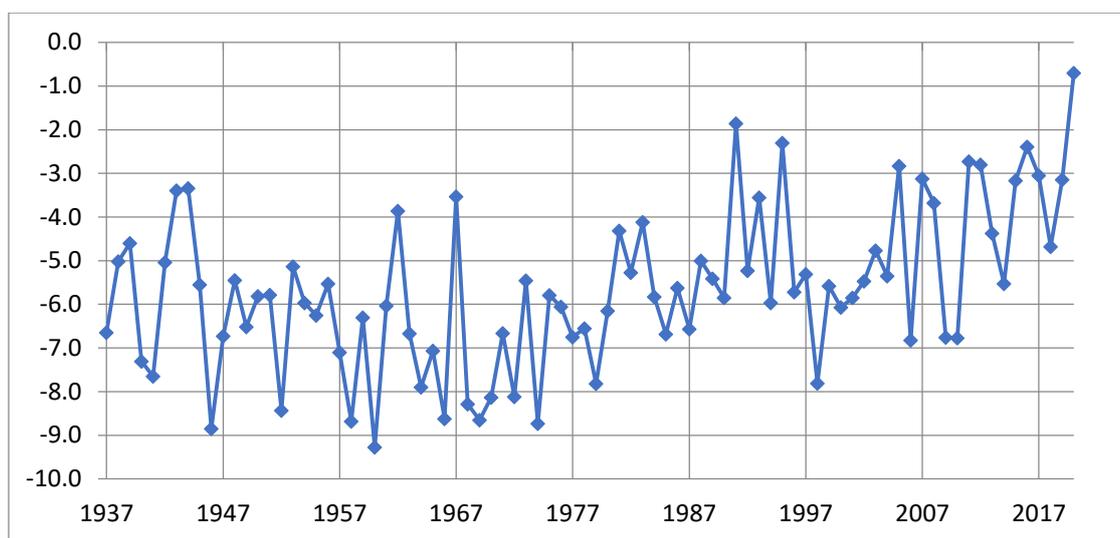


Рисунок 2.4 – Средние годовые температуры 1937 – 2020 года

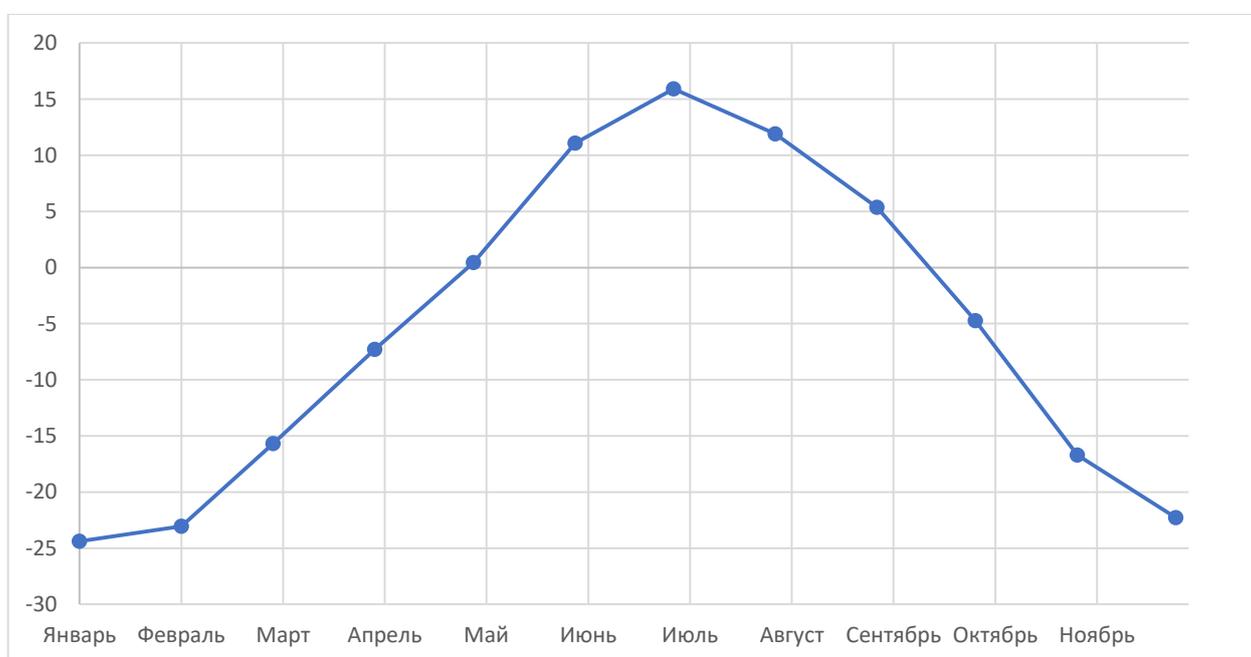


Рисунок 2.5 – Средние месячные температуры в период наблюдения 1937 – 2020 годов

Наряду с низкими минимумами температуры воздуха, в зимние месяцы могут наблюдаться и довольно высокие температуры. Так, в январе почти повсеместно могут быть оттепели с максимальной температурой порядка 2 – 4° тепла.

Однако оттепели зимой явление редкое и кратковременное, особенно в северной половине территории. Период с температурой воздуха выше -5° в

Заполярье наступает в конце мая, на территории к югу от полярного круга до 60° с. ш. – в течение мая – апреля, в южных районах территории в марте – начале апреля.

В конце мая (а на крайнем севере в начале июня) средняя суточная температура воздуха преодолевает 0° и начинается весенний период. В южных частях региона 0° наступает приблизительно в середине апреля.

Температурный режим летних месяцев в значительной степени определяется процессом трансформации (прогрева и насыщения влагой воздушных масс, притекающих с севера, и формирования своеобразного континентального воздуха Западной Сибири). Средние месячные температуры июля, самого теплого месяца года, колеблются в пределах от 4° на Крайнем Севере до 19° на юге территории. В отдельные дни в июле – августе почти ежегодно температура воздуха может повышаться в Заполярье до 20°, на всей остальной территории до 25° – 35°. В наиболее жаркие годы летом температура воздуха может достигать 27° – 30° в Заполярье и 32° – 42° на всей остальной территории.

При вторжениях холодных арктических масс воздуха возможны очень резкие понижения температуры даже в июле: почти повсеместно, за исключением южных лесостепных и степных районов, до -1°, -4°, а в северо-западных районах до -5°, -6°.

2.2.3 Режим атмосферных осадков

Количество и распределение осадков на рассматриваемой территории определяются главным образом особенностями общей циркуляции атмосферы, в частности фронтальной деятельностью западных циклонов, наиболее развитой в средней полосе Западно-Сибирской равнины.

Увлажненность ее почти целиком зависит от количества влаги, приносимой с запада.

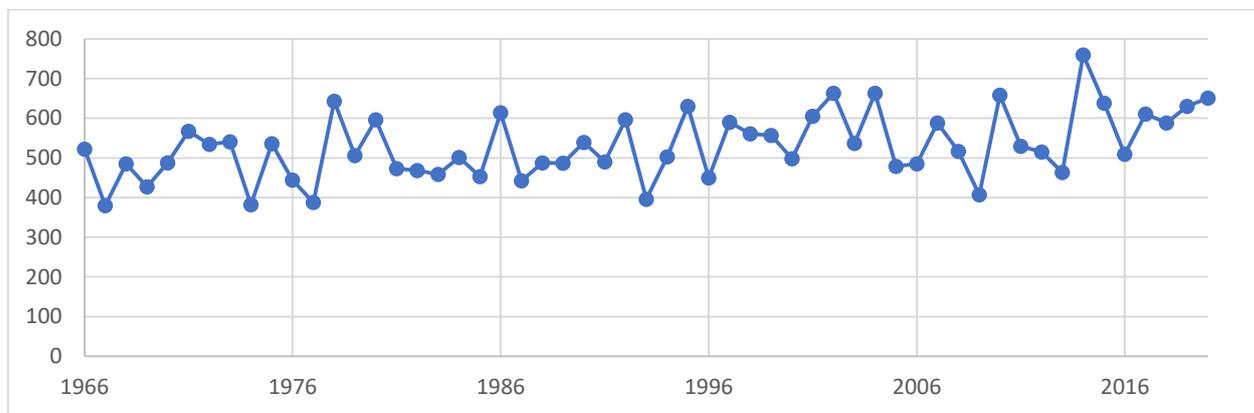


Рисунок 2.6 – Сумма годовых осадков 1966-2020 года.

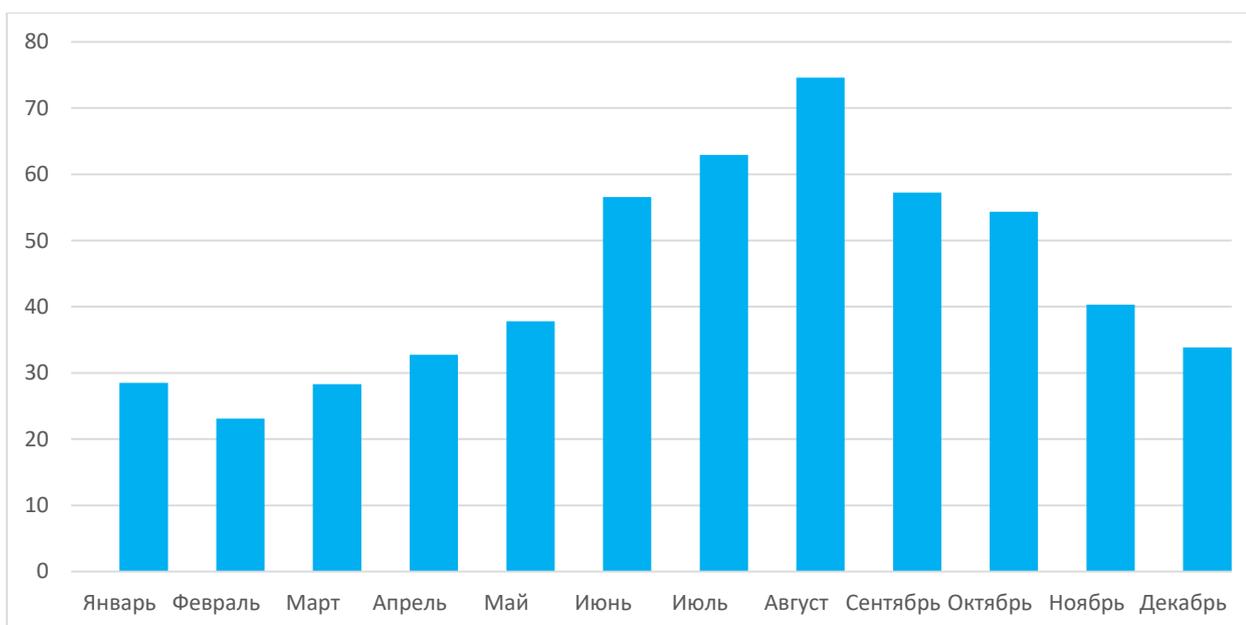


Рисунок 2.7 – Сумма среднемесячных осадков в период наблюдения 1966 – 2020 годов

Вторжение арктических масс с севера и континентально-полярных (а летом и континентально-тропических) с юга не встречает препятствий на обширной территории Западно-Сибирской равнины. Однако первые вообще не дают больших осадков, а вторые, хотя и дают значительные осадки, обычно ограничены сравнительно узкой фронтальной зоной и притом не очень часто

повторяются. Наибольшее годовое количество осадков (500 – 650 мм) выпадает в лесной зоне. Увеличение осадков в этом районе связано с наибольшим развитием циклонической деятельности. К северу и югу от этой зоны количество осадков убывает и в северной тундре на побережье Карского моря составляет всего лишь 300–350 мм, На юге, в степной зоне, количество осадков не превышает 400 мм. Из годового количества осадков на холодный период (ноябрь–март) приходится лишь около 20%. Таким образом, зимний сезон отличается относительной сухостью. В лесостепной зоне количество осадков увеличивается до 125–150 мм, в лесной – до 175, в тундре оно снова уменьшается до 90-10 мм.

В первую половину зимы выпадает больше половины зимнего количества осадков. Годовой минимум осадков падает на февраль, когда в степной и лесостепной зоне месячное количество осадков не превышает 10-20 мм, а в лесной зоне составляет 20-25 мм. По всей территории основное количество осадков выпадает с мая по октябрь, и годовая сумма осадков на 75-80% складывается из осадков теплого полугодия.

2.2.4 Ветры

Летом и осенью в бассейне реки Пур чаще наблюдаются ветры северного и северо-западного направлений, зимой – юго-западного и южного. Среднегодовая скорость ветра 6,6 – 7,5 м/с. Штормовые ветры со скоростью 22 – 25 м/с бывают почти ежегодно, чаще дуют с севера и наблюдаются обычно в конце августа, в сентябре. Ураганные ветры со скоростью 30 – 35 м/с отмечаются редко – один раз в 20 лет.

2.3 Водный режим реки

2.3.1 Гидрометеорологическая изученность

В водосборе реки Пур, на главной реке и её притоках располагается 6 гидрологических постов. Три из них расположены непосредственно на самой реке Пур: пгт. Уренгой, с. Самбург, г. Тарко-Сале. Остальные три

расположены на притоках реки: р. Еркал-Надей-Пур - с. Халясавэй и р. Седэ-Яха - г. Новый Уренгой расположены на притоках первого порядка, а р. Хале-Савой - с. Халясавэй на притоке второго порядка. Так же на территории водосбора реки расположено 6 метеорологических постов и станции. Схема расположения гидропостов и метеостанций представлена на рисунке 2.8.

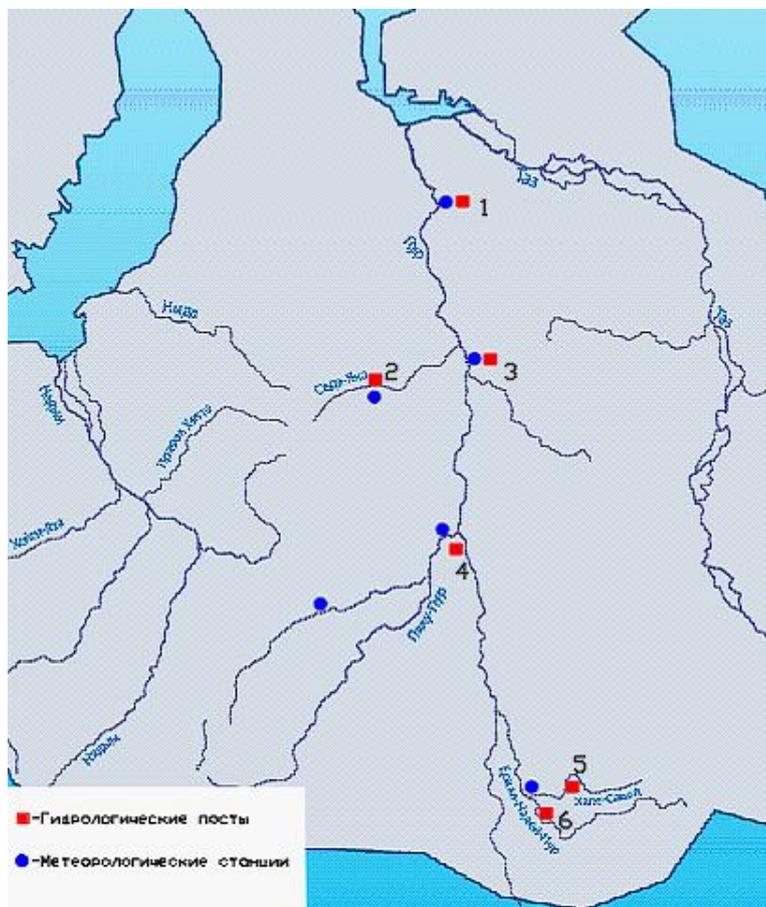


Рисунок 2.8 – Карта гидрометеорологической изученности

Таблица 2.1 – Гидрологические посты на р.Пур и её притоках

| № по рис. 2.8 | Река | Пост | Расст. от устья, км | Площадь водосбора, км ² | Период действия | |
|---------------|----------|-----------------|---------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|
| | | | | | открыт | закрит |
| 1 | Пур | г.Самбург | 86 | 95100 | 07.10.1936 | действует |
| 2 | Седэ-Яха | г.Новый Уренгой | 4.10 | 1300 | 11.04.1985 | действует |
| 3 | Пур | пгт.Уренгой | 245 | 80400 | 07.09.1948 | действует |
| 4 | Пур | г.Тарко-Сале | 3.4 | 31400 | 01.08.1938 | действует |

| № по рис. 2.8 | Река | Пост | Расст. от устья, км | Площадь водосбора, км ² | Период действия | |
|---------------|-----------------|-------------|---------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|
| | | | | | открыт | закрит |
| 5 | Хале-Савой | с.Халясавэй | 1.5 | 822 | 20.08.1985 | действует |
| 6 | Еркал-Надей-Пур | с.Халясавэй | 108 | 6600 | 27.08.1958 | действует |

2.3.2 Гидрографическая характеристика

Водосборный бассейн р. Пур общей площадью 112 тыс.км² расположен в пределах лесотундровой и тундровой ландшафтно-географических зон. Большая часть площади бассейна заболочена. Характерной особенностью болотного ландшафта является обилие малых озер, общее число которых превышает 85 тысяч. Многие озера, являясь сточными или проточными, непосредственно связаны с речной сетью, густота которой составляет 0,38 км/км².

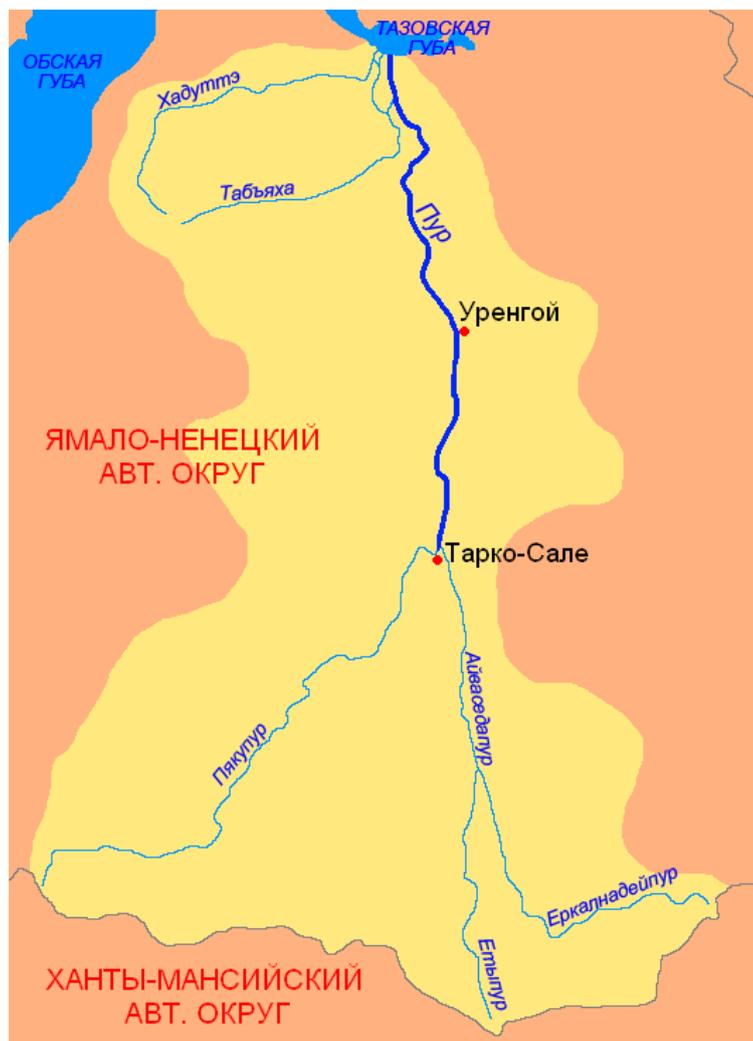


Рисунок 2.9 – Водосбор реки Пур

Реки текут среди низких берегов, меандрируя в широких долинах, образуя рукава и протоки. Особенно хорошо развита система проток в нижнем течении реки. При впадении в Тазовскую губу р. Пур разделяется на два рукава – Малый и Большой Пур, образуя обширную дельту. На выходе реки в Тазовскую губу имеется бар.

Река Пур, так же как и р. Таз, берет начало с северного склона Сибирских Увалов. Длина основного водотока, включающего крупные притоки верховий, составляет более тысячи километров. Ширина реки колеблется от 200 до 850 м, средний уклон составляет 0,013 %. По объему годового стока р. Пур уступает только р. Таз. Модуль стока для р. Пур равен $9,3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

Для рек бассейна Пура характерно смешанное питание с преобладанием грунтово-болотного, со стоком преимущественно в теплое время года. На севере района в питании рек возрастает роль дождей. Водный режим сравнительно устойчив: величина коэффициента вариации годового стока составляет 0,12. В многолетнем аспекте для р. Пур характерно чередование периодов многоводных и маловодных лет. Продолжительность циклов обычно не превышает 5 лет.

Небольшое падение реки обуславливает незначительную скорость течения.

Средняя скорость течения рек в бассейне составляет менее одного метра в секунду. В межень скорости течения уменьшаются до 0,3–0,5 м/с на плесах и до 0,6–0,8 м/с на перекатах. Во время половодья скорость течения р. Пур возрастает до 1,2–1,3 м/с. Преобладающие глубины на плесовых участках Пура составляют 4–5 м, максимальные – 12 м, наименьшие (на перекатах) – 1,2 м. Глубины в устье Пура в районе бара могут существенно меняться под воздействием сгонно-нагонных ветров.

2.3.3 Водный и уровенный режимы

Питание реки Пур главным образом снеговое и дождевое. По водному режиму река относится к западносибирскому типу – с сильно растянутым весенним половодьем, повышенными уровнями и расходами воды в летне-осенний период и сравнительно малым стоком в зимний период года.

Для водного режима реки Пур характерно высокое весеннее половодье и низкие летняя и зимняя межень, а также летние и осенние дождевые паводки, приводящие к подъему уровня воды в реке Пур до 1,5-2,0 м.

Наиболее высокие уровни воды наступают в конце мая – начале июня в верховьях реки и в конце первой декады июня – в ее нижнем течении. Уровень воды во время половодья поднимается в среднем на 4-5 м, максимум составляет 7 м. Спад уровня воды растягивается до конца августа – начала сентября, когда и устанавливаются низкие уровни.

Основной сток (57-63% годового) проходит весной-летом, в летне-осеннюю межень – 19-25%, зимой – 17-20% в зависимости от водности года. Самый многоводный месяц – июнь (34-35% объема годового стока), самые маловодные – март и апрель (2,1-2,3%). Промерзание и пересыхание для реки Пур не характерно.

В южной части Тазовской губы и на нижнем участке Пура наблюдаются сгонно-нагонные явления. Нагоны возникают в основном в летне-осенний период при ветрах северных направлений. Подъем уровня воды под действием нагонных ветров распространяется вверх от устья до поселка Самбург и достигает 1,2 м в устье и 0,6 м в районе Самбурга.

Уровенный режим рек в бассейне Пура складывается из периодов высоких уровней весеннего стока, повышенных осенних уровней, низких уровней зимней и летней межени. Наивысший подъем уровня воды обычно наблюдается во время весеннего половодья. В низовьях Пура наибольшим годовым уровнем воды иногда становится уровень весеннего ледохода. Происходит это преимущественно в годы с запоздалой весной в северных районах бассейна. В верховьях максимальный годовой уровень отмечается после окончательного очищения реки ото льда. Низший летний уровень воды наблюдается обычно в августе и предшествует высшему уровню летне-осеннего периода. В годы с растянутым весенним половодьем и обилием жидких осадков уровень летней межени бывает выражен менее отчетливо. Наибольший уровень летне-осеннего периода приурочен к годовому максимуму атмосферных осадков – периоду сочетания осенних обильных дождей с пониженными испарениями с территории водосбора и поверхности водоемов. Осенью, во время ледохода, в отдельные годы наблюдается подъем уровня воды на 1,0-1,5 м. Высота низшего уровня воды в зимнюю межень зависит в основном от интенсивности подземного стока и может наблюдаться как в первую, так и во вторую половину фазы ледостава. В первом случае это происходит обычно в годы с непродолжительным весенним половодьем, дефицитом осадков и повышенным испарением; во втором – в годы с

малоснежной зимой при глубоком промерзании источников болотно-грунтового питания.

2.3.4 Ледовый режим

Льдообразование на Пуре обычно начинается во второй декаде октября с низовья и в течение нескольких дней распространяется до истоков реки. Разрушение ледяного покрова начинается во второй половине мая. Начало весеннего ледохода обычно приходится на конец мая. Весенний ледоход, средняя продолжительность которого 3–4 дня, проходит спокойно, без заторов, в период наивысших уровней воды. Река Пякупур и верховье реки Пур очищаются ото льда в среднем к 1 июня; нижний участок реки Пур очищается ото льда обычно к 9 июня. Продолжительность физической навигации на Пуре по многолетним наблюдениям составляет 115 – 135 суток.

Большую часть года реки бассейна Пура покрыты льдом. Период открытой воды даже в наиболее теплые годы не превышает в верховьях 5, а в низовьях – 4,5 месяца. Появление устойчивых ледяных образований происходит в конце первой – начале второй декады октября. Наиболее интенсивное нарастание толщины льда отмечается в начале ледостава. В низовьях рек толщина слоя льда увеличивается на 10–15 см за декаду, в верховьях и среднем течении – 5–10 см за декаду. В декабре темп нарастания толщины льда несколько замедляется, особенно в верховьях, чему способствует интенсивное и постоянное увеличение высоты снежного покрова. Ближе к весне нарастание толщины льда постепенно прекращается.

Переход речной системы Пура в условия зимнего режима обычно начинается с прибрежных мелководий маловодных тундровых рек. При продолжительной холодной погоде, охватывающей обширные территории, и последующем резком понижении температуры воздуха первичные ледовые образования могут возникать почти одновременно на всем протяжении речной

системы, сохраняя наибольшую устойчивость в низовьях. В фазе ледостава на реках часто появляются наледи, причин возникновения которых несколько:

1) повышение уровня воды при образовании льда или уменьшении живого сечения при заторах;

2) прогибание и погружение тонкого льда под тяжестью слоя снега;

3) выход на поверхность льда вод сточных или проточных озер при относительном повышении уровня воды в них;

4) выход грунтовых вод вследствие образования гидростатического напора при промерзании воды в сезонно-протаивающем слое поверхности водосбора;

5) промерзание мелководных участков рек или их притоков. Разрушение ледяного покрова на р. Пур происходит в конце мая – начале июня. После ледохода температура воды быстро растет и с окончанием весеннего подъема уровня оказывается выше температуры воздуха; это превышение сохраняется до следующей весны.

2.3.5 Сток наносов

Для рек бассейна р. Пур свойственна малая мутность вод. Содержание взвешенных веществ в воде изменяется от 9 до 28 мг/л. Модуль стока речных наносов равен 6,5 т/год с 1 км² площади водосбора. Сток растворенных в воде веществ почти в 2,5 раза больше твердого стока.

3 РАСЧЕТ ОБЕСПЕЧЕННЫХ УРОВНЕЙ, Р.ПУР – Г.ТАРКО-САЛЕ

По уровням воды, полученным из ежегодников по гидрологическому посту Тарко-Сале, произведен расчет обеспеченных максимальных уровней и минимальных за летне-осенний период по данным с 1939 по 2019 год.

3.1 Расчет максимальных обеспеченных уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

По ряду максимальных уровней воды длиной 80 лет проведена проверка на однородность по критериям Фишера и Стьюдента, результаты приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Проверка ряда максимальных уровней воды на однородность

| t* | t2 % | H0: x1 = x2 | F* | F2 % | H0: D1 = D2 |
|-----|------|-------------|------|------|-------------|
| 1.8 | 1.99 | не опр | 1.81 | 1.89 | не опр |

По полученным результатам проверки – ряд однороден.

Расчитаны обеспеченности максимальных уровней воды. Расчет сведен в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет обеспеченностей максимальных уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

| N | год | H, см | H _{ранж} , см | P% |
|---|------|-------|------------------------|------|
| 1 | 1939 | 1042 | 1054 | 1.2 |
| 2 | 1940 | 1054 | 1053 | 2.5 |
| 3 | 1941 | 920 | 1045 | 3.7 |
| 4 | 1942 | 982 | 1042 | 4.9 |
| 5 | 1943 | 1012 | 1041 | 6.2 |
| 6 | 1944 | 915 | 1037 | 7.4 |
| 7 | 1945 | 956 | 1037 | 8.6 |
| 8 | 1947 | 998 | 1012 | 9.9 |
| 9 | 1948 | 938 | 1010 | 11.1 |

| N | год | H, см | H _{ранж} , см | P% |
|----|------|-------|------------------------|------|
| 10 | 1949 | 887 | 1002 | 12.3 |
| 11 | 1950 | 957 | 1002 | 13.6 |
| 12 | 1951 | 949 | 1000 | 14.8 |
| 13 | 1952 | 842 | 998 | 16.0 |
| 14 | 1953 | 973 | 998 | 17.3 |
| 15 | 1954 | 951 | 998 | 18.5 |
| 16 | 1955 | 982 | 997 | 19.8 |
| 17 | 1956 | 913 | 996 | 21.0 |
| 18 | 1957 | 1053 | 994 | 22.2 |
| 19 | 1958 | 942 | 992 | 23.5 |
| 20 | 1959 | 997 | 992 | 24.7 |
| 21 | 1960 | 948 | 991 | 25.9 |
| 22 | 1961 | 1041 | 987 | 27.2 |
| 23 | 1962 | 928 | 982 | 28.4 |
| 24 | 1963 | 958 | 982 | 29.6 |
| 25 | 1964 | 979 | 982 | 30.9 |
| 26 | 1965 | 900 | 981 | 32.1 |
| 27 | 1966 | 992 | 979 | 33.3 |
| 28 | 1967 | 1037 | 973 | 34.6 |
| 29 | 1968 | 987 | 969 | 35.8 |
| 30 | 1969 | 891 | 969 | 37.0 |
| 31 | 1970 | 951 | 968 | 38.3 |
| 32 | 1971 | 956 | 968 | 39.5 |
| 33 | 1972 | 969 | 966 | 40.7 |
| 34 | 1973 | 982 | 965 | 42.0 |
| 35 | 1974 | 1002 | 964 | 43.2 |
| 36 | 1975 | 981 | 961 | 44.4 |
| 37 | 1976 | 1045 | 960 | 45.7 |
| 38 | 1977 | 964 | 959 | 46.9 |
| 39 | 1978 | 910 | 958 | 48.1 |
| 40 | 1979 | 1037 | 957 | 49.4 |
| 41 | 1980 | 969 | 957 | 50.6 |
| 42 | 1981 | 998 | 956 | 51.9 |
| 43 | 1982 | 957 | 956 | 53.1 |
| 44 | 1983 | 874 | 953 | 54.3 |
| 45 | 1984 | 991 | 952 | 55.6 |
| 46 | 1985 | 918 | 952 | 56.8 |
| 47 | 1986 | 960 | 951 | 58.0 |
| 48 | 1987 | 1010 | 951 | 59.3 |
| 49 | 1988 | 968 | 951 | 60.5 |
| 50 | 1989 | 938 | 949 | 61.7 |
| 51 | 1990 | 941 | 949 | 63.0 |

| N | год | H, см | H _{ранж} , см | P% |
|----|------|-------|------------------------|------|
| 52 | 1991 | 952 | 948 | 64.2 |
| 53 | 1992 | 886 | 948 | 65.4 |
| 54 | 1993 | 945 | 948 | 66.7 |
| 55 | 1994 | 966 | 945 | 67.9 |
| 56 | 1995 | 936 | 942 | 69.1 |
| 57 | 1996 | 952 | 941 | 70.4 |
| 58 | 1997 | 948 | 938 | 71.6 |
| 59 | 1998 | 992 | 938 | 72.8 |
| 60 | 1999 | 998 | 936 | 74.1 |
| 61 | 2000 | 959 | 931 | 75.3 |
| 62 | 2001 | 994 | 929 | 76.5 |
| 63 | 2002 | 953 | 928 | 77.8 |
| 64 | 2003 | 1002 | 925 | 79.0 |
| 65 | 2004 | 918 | 924 | 80.2 |
| 66 | 2005 | 929 | 920 | 81.5 |
| 67 | 2006 | 924 | 918 | 82.7 |
| 68 | 2007 | 915 | 918 | 84.0 |
| 69 | 2008 | 951 | 915 | 85.2 |
| 70 | 2009 | 948 | 915 | 86.4 |
| 71 | 2010 | 961 | 913 | 87.7 |
| 72 | 2011 | 996 | 910 | 88.9 |
| 73 | 2012 | 865 | 900 | 90.1 |
| 74 | 2013 | 862 | 891 | 91.4 |
| 75 | 2014 | 1000 | 887 | 92.6 |
| 76 | 2015 | 968 | 886 | 93.8 |
| 77 | 2016 | 965 | 874 | 95.1 |
| 78 | 2017 | 925 | 865 | 96.3 |
| 79 | 2018 | 931 | 862 | 97.5 |
| 80 | 2019 | 949 | 842 | 98.8 |

По ряду максимальных расходов рассчитаны числовые характеристики ряда, приведенные в таблице 3.3. Так как $C_s = -0.10$, аналитической кривой выбрана кривая Пирсона III типа.

Таблица 3.3 – Характеристики ряда максимальных уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

| | |
|-----------|-------|
| \bar{Q} | 959 |
| ско | 44.55 |
| C_v | 0.05 |

| | |
|-------|-------|
| Cs | -0.10 |
| Cs/Cv | -2.23 |

По среднему значению исследуемого ряда, коэффициенту вариации и коэффициенту асимметрии получены ординаты аналитической кривой Пирсона III типа. Расчет сводится в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Расчет ординат аналитической кривой обеспеченностей Пирсона III типа для максимальных уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

| P% | tp | kp | H, см |
|------|-------|------|-------|
| 0.01 | 3.55 | 1.16 | 1117 |
| 0.1 | 2.95 | 1.14 | 1091 |
| 1 | 2.25 | 1.10 | 1059 |
| 5 | 1.61 | 1.07 | 1031 |
| 10 | 1.27 | 1.06 | 1016 |
| 20 | 0.84 | 1.04 | 997 |
| 30 | 0.53 | 1.02 | 983 |
| 50 | 0.02 | 1.00 | 960 |
| 70 | -0.51 | 0.98 | 936 |
| 80 | -0.84 | 0.96 | 922 |
| 90 | -1.29 | 0.94 | 902 |
| 95 | -1.67 | 0.92 | 885 |
| 99 | -2.4 | 0.89 | 852 |
| 99.9 | -3.24 | 0.85 | 815 |

По полученным результатам были построены эмпирическая и аналитическая кривые представленные на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1– Эмпирическая и аналитическая кривая обеспеченностей максимальных уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

Аналитическая кривая хорошо ложится на эмпирические значения максимальных расходов воды. По аналитической кривой были получены уровни заданной обеспеченности приведенные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Максимальные уровни воды заданной обеспеченности, р.Пур – г.Тарко-Сале

| P% | H, см |
|----|-------|
| 1 | 1060 |
| 2 | 1045 |
| 5 | 1025 |
| 10 | 1010 |

3.2 Расчет минимальных обеспеченных уровней воды за летне-осенний период, р.Пур – г.Тарко-Сале

По ряду минимальных уровней воды была проведена проверка на однородность по критериям Фишера и Стьюдента, результаты приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Проверка ряда минимальных за летне-осенний период уровней воды на однородность

| t* | t2 % | H0: x1 = x2 | F* | F2 % | H0: D1 = D2 |
|------|------|-------------|------|------|-------------|
| 0.08 | 1.99 | не опров | 1.06 | 1.90 | не опров |

Ряд однороден.

В таблицу 3.6 сведены расчеты обеспеченностей минимальных за летне-осенний период уровней воды.

Таблица 3.6 – Расчет обеспеченностей минимальных за летне-осенний период уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

| N | год | H, см | H _{ранж} , см | P% |
|----|------|-------|------------------------|------|
| 1 | 1939 | 593 | 680 | 1.3 |
| 2 | 1940 | 575 | 638 | 2.5 |
| 3 | 1941 | 604 | 633 | 3.8 |
| 4 | 1942 | 606 | 632 | 5.0 |
| 5 | 1944 | 581 | 631 | 6.3 |
| 6 | 1945 | 560 | 624 | 7.5 |
| 7 | 1947 | 609 | 624 | 8.8 |
| 8 | 1948 | 633 | 621 | 10.0 |
| 9 | 1949 | 594 | 620 | 11.3 |
| 10 | 1950 | 588 | 619 | 12.5 |
| 11 | 1951 | 557 | 612 | 13.8 |
| 12 | 1952 | 585 | 609 | 15.0 |
| 13 | 1953 | 589 | 608 | 16.3 |
| 14 | 1954 | 602 | 606 | 17.5 |
| 15 | 1955 | 604 | 606 | 18.8 |
| 16 | 1956 | 589 | 605 | 20.0 |
| 17 | 1957 | 541 | 604 | 21.3 |
| 18 | 1958 | 590 | 604 | 22.5 |
| 19 | 1959 | 590 | 604 | 23.8 |

| N | год | H, см | H _{ранж} , см | P% |
|----|------|-------|------------------------|------|
| 20 | 1960 | 580 | 604 | 25.0 |
| 21 | 1961 | 559 | 603 | 26.3 |
| 22 | 1962 | 540 | 603 | 27.5 |
| 23 | 1963 | 572 | 602 | 28.8 |
| 24 | 1964 | 580 | 600 | 30.0 |
| 25 | 1965 | 604 | 599 | 31.3 |
| 26 | 1966 | 603 | 598 | 32.5 |
| 27 | 1967 | 577 | 595 | 33.8 |
| 28 | 1968 | 506 | 594 | 35.0 |
| 29 | 1969 | 593 | 593 | 36.3 |
| 30 | 1970 | 593 | 593 | 37.5 |
| 31 | 1971 | 592 | 593 | 38.8 |
| 32 | 1972 | 631 | 592 | 40.0 |
| 33 | 1973 | 620 | 590 | 41.3 |
| 34 | 1974 | 583 | 590 | 42.5 |
| 35 | 1975 | 638 | 590 | 43.8 |
| 36 | 1976 | 547 | 589 | 45.0 |
| 37 | 1977 | 518 | 589 | 46.3 |
| 38 | 1978 | 598 | 588 | 47.5 |
| 39 | 1979 | 595 | 587 | 48.8 |
| 40 | 1980 | 604 | 585 | 50.0 |
| 41 | 1981 | 606 | 585 | 51.3 |
| 42 | 1982 | 551 | 583 | 52.5 |
| 43 | 1983 | 553 | 582 | 53.8 |
| 44 | 1984 | 562 | 581 | 55.0 |
| 45 | 1985 | 603 | 581 | 56.3 |
| 46 | 1986 | 621 | 580 | 57.5 |
| 47 | 1987 | 582 | 580 | 58.8 |
| 48 | 1988 | 534 | 580 | 60.0 |
| 49 | 1989 | 550 | 578 | 61.3 |
| 50 | 1990 | 551 | 577 | 62.5 |
| 51 | 1991 | 564 | 577 | 63.8 |
| 52 | 1992 | 577 | 575 | 65.0 |
| 53 | 1993 | 564 | 573 | 66.3 |
| 54 | 1994 | 563 | 573 | 67.5 |
| 55 | 1995 | 563 | 572 | 68.8 |
| 56 | 1996 | 580 | 571 | 70.0 |
| 57 | 1997 | 605 | 571 | 71.3 |
| 58 | 1998 | 624 | 569 | 72.5 |
| 59 | 1999 | 590 | 566 | 73.8 |
| 60 | 2000 | 564 | 564 | 75.0 |
| 61 | 2001 | 599 | 564 | 76.3 |

| N | год | H, см | H _{ранж} , см | P% |
|----|------|-------|------------------------|------|
| 62 | 2002 | 624 | 564 | 77.5 |
| 63 | 2003 | 573 | 563 | 78.8 |
| 64 | 2004 | 578 | 563 | 80.0 |
| 65 | 2005 | 569 | 562 | 81.3 |
| 66 | 2006 | 571 | 560 | 82.5 |
| 67 | 2007 | 566 | 559 | 83.8 |
| 68 | 2008 | 587 | 557 | 85.0 |
| 69 | 2009 | 571 | 553 | 86.3 |
| 70 | 2010 | 600 | 551 | 87.5 |
| 71 | 2011 | 581 | 551 | 88.8 |
| 72 | 2012 | 545 | 550 | 90.0 |
| 73 | 2013 | 573 | 547 | 91.3 |
| 74 | 2014 | 632 | 545 | 92.5 |
| 75 | 2015 | 680 | 541 | 93.8 |
| 76 | 2016 | 585 | 540 | 95.0 |
| 77 | 2017 | 619 | 534 | 96.3 |
| 78 | 2018 | 612 | 518 | 97.5 |
| 79 | 2019 | 608 | 506 | 98.8 |

По ряду минимальных расходов были рассчитаны характеристики приведенные в таблице 3.7. Аналитической кривой была выбрана кривая Пирсона III типа, так как кривая Крицкого-Менкеля плохо ложится на точки.

Таблица 3.7 – Характеристики ряда минимальных за летне-осенний период уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

| | |
|-----------|-------|
| \bar{Q} | 584 |
| ско | 28.53 |
| Cv | 0.05 |
| Cs | 0.12 |
| Cs/Cv | 2.39 |

Для расчета ординат аналитической кривой обеспеченностей Пирсона III типа необходимо знать среднее значение исследуемого ряда, коэффициент вариации и коэффициенту асимметрии. Эти параметры были рассчитаны в таблице 3.7. Расчет ординат аналитической кривой приведен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Расчет ординат аналитической кривой обеспеченностей Пирсона III типа для минимальных за летне-осенний период уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

| P% | tp | kp | H |
|------|-------|------|-----|
| 0.01 | 3.94 | 1.19 | 697 |
| 0.1 | 3.24 | 1.16 | 677 |
| 1 | 2.40 | 1.12 | 653 |
| 5 | 1.67 | 1.08 | 632 |
| 10 | 1.29 | 1.06 | 622 |
| 20 | 0.84 | 1.04 | 609 |
| 30 | 0.51 | 1.02 | 599 |
| 50 | -0.02 | 1.00 | 584 |
| 70 | -0.54 | 0.97 | 570 |
| 80 | -0.85 | 0.96 | 561 |
| 90 | -1.27 | 0.94 | 549 |
| 95 | -1.60 | 0.92 | 539 |
| 99 | -2.57 | 0.87 | 512 |
| 99.9 | -2.95 | 0.86 | 501 |

По полученным результатам построена эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченности минимальных за летне-осенний период уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале. (Рисунок 3.2)

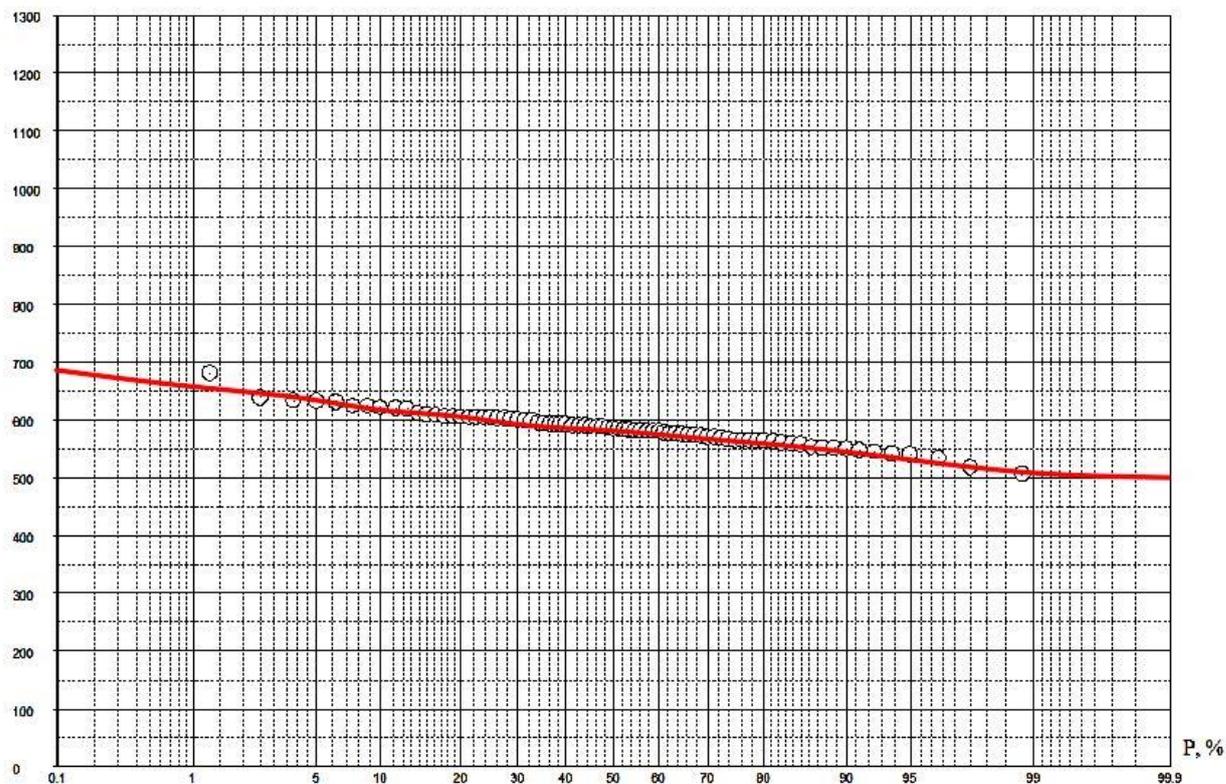


Рисунок 3.2 – Эмпирическая и аналитическая кривая обеспеченностей минимальных за летне-осенний период уровней воды, р.Пур – г.Тарко-Сале

По построенной аналитической кривой были получены уровни заданной обеспеченности, приведенные в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Минимальные за летне-осенний период уровни воды заданной обеспеченности, р.Пур – г.Тарко-Сале

| P% | H, см |
|----|-------|
| 95 | 540 |
| 97 | 525 |
| 99 | 510 |

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОХОДНОГО УЧАСТКА В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ ПУР

4.1 Общие сведения о моделировании

Моделирование представляет собой исследование каких – либо конкретных объектов познания на их моделях; заключается в построении и изучении моделей реально существующих объектов, процессов или явлений. Целью моделирования является получение объяснений этих явлений, а также предсказание явлений, которые представляют интерес для исследователя.

Модель – это такой материальный или мысленно представляемый объект, в процессе изучения замещающий объект-оригинал, при этом сохраняя наиболее важные для данного исследования черты, характеризующие реальный объект. Само слово «модель» произошло от латинского слова «modulus», означающего «мера», «образец». Первоначальное значение слова «modulus» было связано со строительным искусством, и во многих языках оно употреблялось для обозначения образа, прообраза, или вещи, сходной по тем или иным характеристикам с другой вещью. Человек применяет модели при изучении сложных явлений, процессов, конструировании новых сооружений из-за ее доступности для исследования по сравнению с реальным объектом.

Модель даёт возможность научиться правильно управлять объектом, используя различные варианты управления на модели э того объекта. Эксперименты с реальным объектом в лучшем случае бывают неудобны, а зачастую просто вредны, опасны или вообще невозможны в силу большой продолжительности эксперимента во времени, риска привести объект в нежелательное и необратимое состояние и других причин. Моделирование – процесс построения интересующей модели, а затем и изучения строения и свойств оригинала с помощью модели.

С совершенствованием вычислительной техники и широким распространением персональных компьютеров перед моделированием открылись огромные перспективы и возможности для исследования процессов

и явлений окружающего мира, в том числе и гидрологических. Видов моделирования огромное количество, существуют, например, математические, графические и имитационные модели.

Математические модели – это знаковые модели, описывающие определенные числовые соотношения.

Графические модели представляют собой визуальное представление объектов, которые настолько сложны, что их описание иными способами не дает человеку ясного понимания. Здесь наглядность модели имеет наибольшее значение для исследователей.

Имитационные модели позволяют наблюдать изменение поведения элементов системы-модели, проводить эксперименты, изменяя некоторые параметры модели, они также дают возможность учитывать наличие дискретных или непрерывных элементов, нелинейные характеристики, случайные воздействия и др. Поэтому этот метод широко применяется на этапе проектирования сложных систем.

Компьютерное моделирование – термин, который всё чаще и чаще используется в современном мире, это математическое моделирование с использованием средств вычислительной техники.

Компьютерные модели способны соответствовать моделируемому объекту и по свойствам, и по структуре. При этом имеется однозначное и явное соответствие между процессами, получаемыми на модели, и процессами, протекающими на объекте.

4.2 Построение модели участка верховья реки Пур

Для построения модели участка реки Пур была использована программа AutoCAD Civil3D. Основой модели послужили судоходные лоции реки Пур. Точки глубин на лоциях были перенесены в программу методом оцифровки. (Рисунок 4.1) Необходимо быть внимательным с настройкой масштаба листов лоций для оцифровки, чтобы модель соответствовала размерам своего реального объекта. Далее производится перенесение точек глубин в

программу для дальнейшего построения. Помимо глубин производится оцифровка берегов и островов.

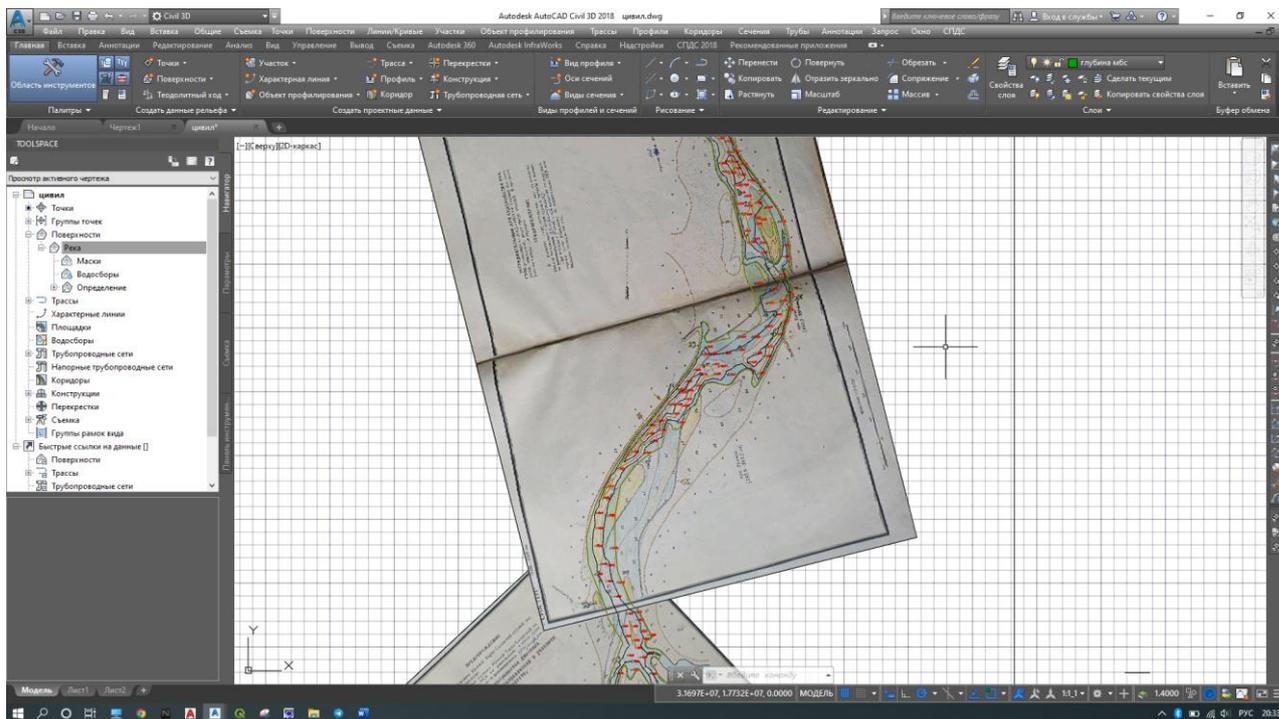


Рисунок 4.1 – Оцифровка судоходных лоций.

По оцифрованным точкам глубин и урезу воды в программе Civil3D производится построение модели участка реки. Программа строит модель в автоматическом режиме, но требует внимательной настройки параметров построения, а именно: задание верных границ участка построения, настройка группы точек по которой производится интерполяция и построение, настройки горизонталей, для дальнейшего построения.

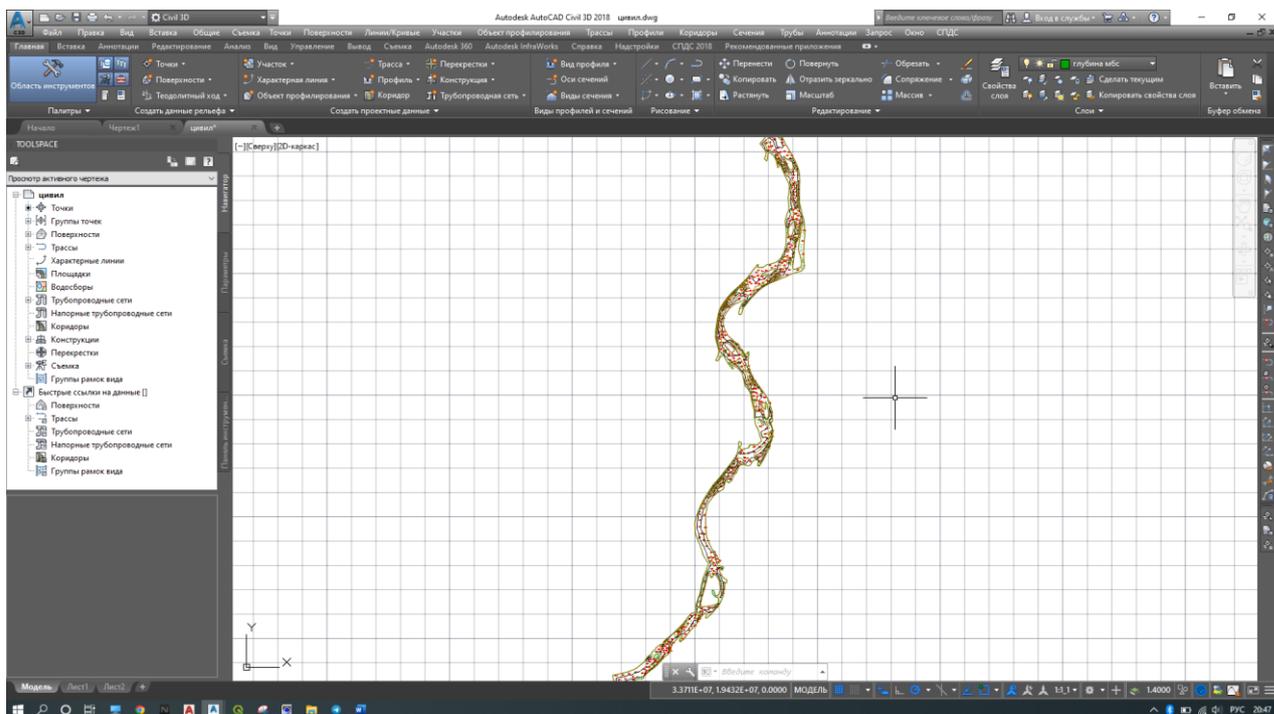


Рисунок 4.2 – Модель участка реки Пур.

После настройки и построения модели стоит внимательно изучить результат, так как возможны ошибки в построенной модели, связанные с недостаточностью точек на участке. Проблема решается путем анализа участка и добавления новых точек глубин в модель.

4.3 Анализ ЦМР

Программа Civil3D позволяет наложить на модель цветовую шкалу глубин, что существенно облегчает анализ участка на предмет малых глубин или узких участков судовых ходов. Особенностью программы является инверсия цветов, то есть чем больше глубина, тем светлее цвет, и наоборот. (Рисунок 4.3)

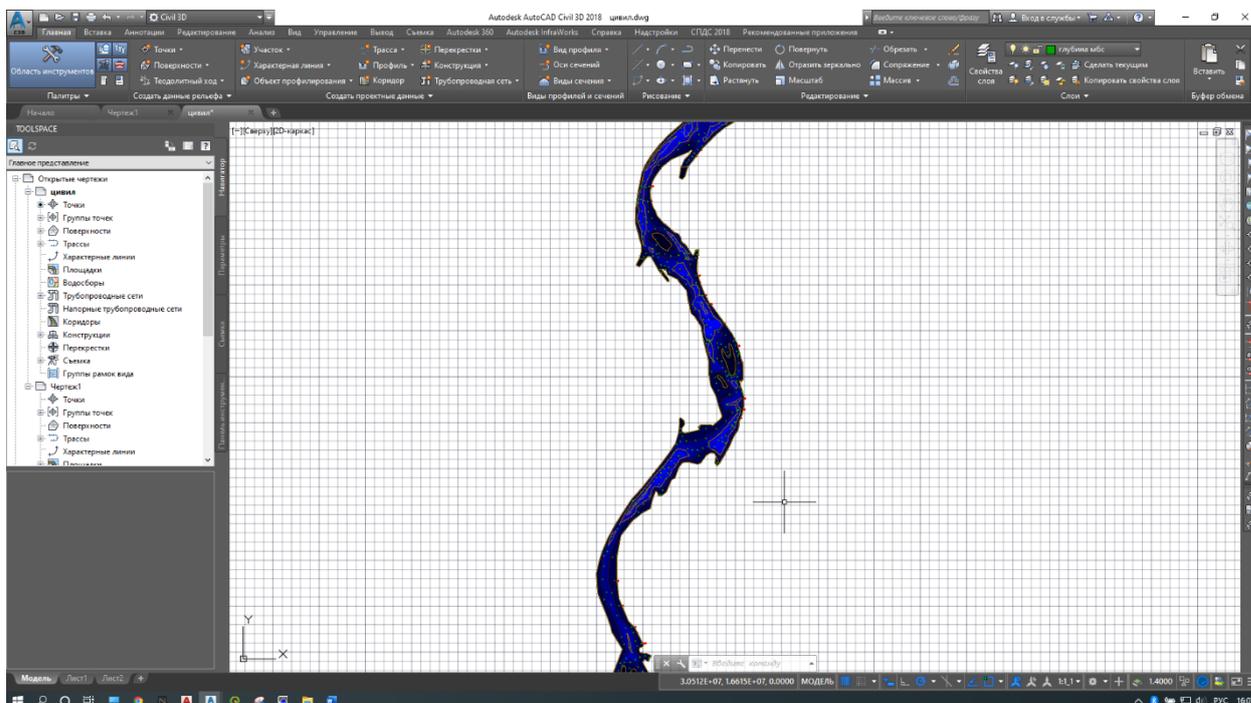
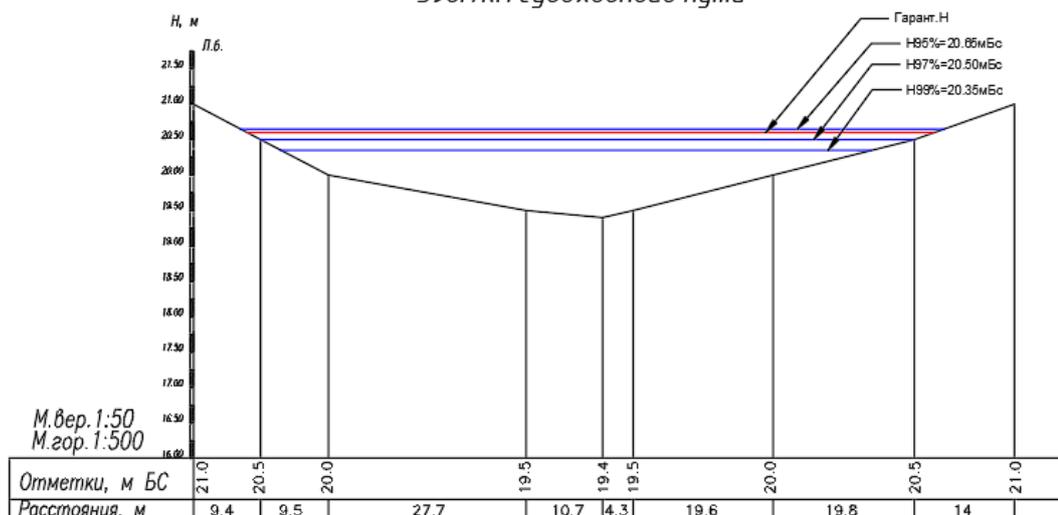


Рисунок 4.3 – Модель участка реки с наложенной цветовой шкалой глубин

На полученной модели ярко выражены проблемы судоходства в верховьях реки Пур, а именно малые глубины на некоторых участках с извилистым судовым ходом.

На построенной модели были выявлены несколько таких участков. По данным участкам были построены поперечные профили с нанесением на них рассчитанных обеспеченных минимальных уровней за летне-осенний период и гарантированной для судоходства глубины. (Рисунки 4.4 – 4.6)

Поперечный профиль р.Пур
398.7км судоходного пути



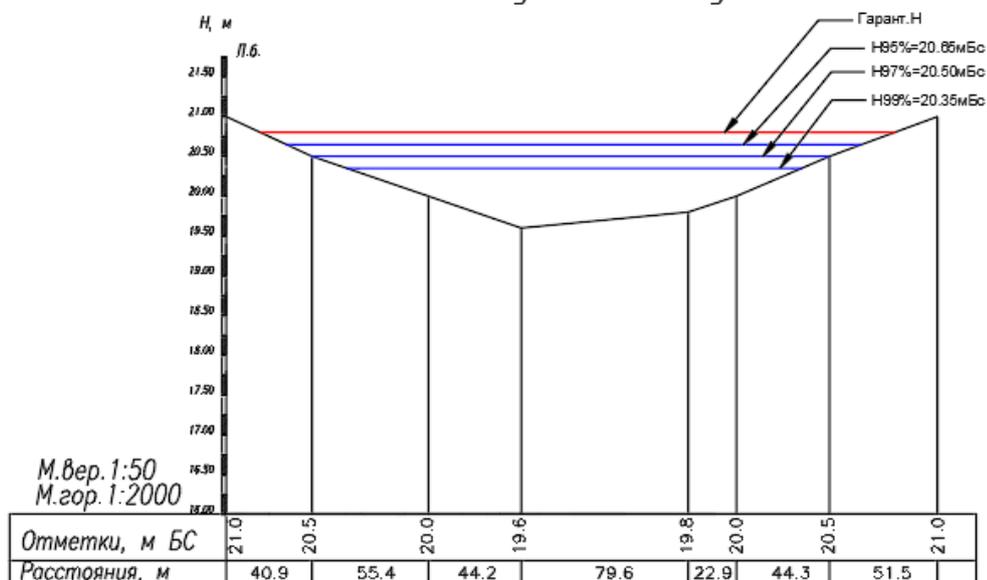
Примечание:

Система высот Балтийская

- Отметки уреза воды, м БС.
- Отметки дна, м
- Отметка гарантированной глубины, м

Рисунок 4.4 – Поперечный профиль р.Пур 398.7 км судоходного пути

Поперечный профиль р.Пур
396.8км судоходного пути



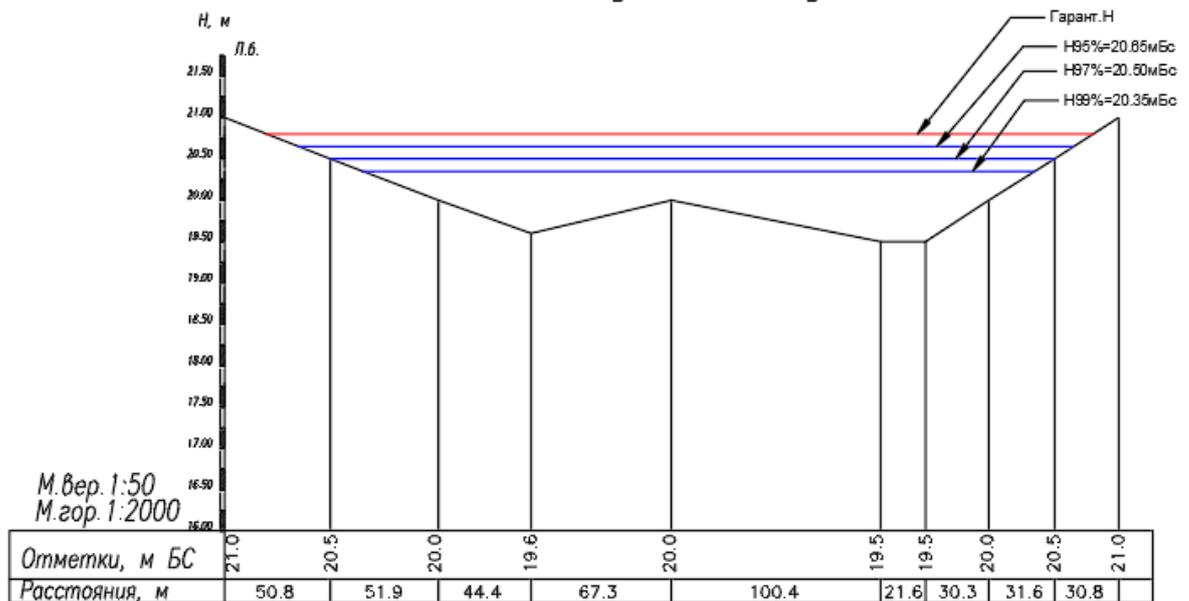
Примечание:

Система высот Балтийская

- Отметки уреза воды, м БС.
- Отметки дна, м
- Отметка гарантированной глубины, м

Рисунок 4.5 – Поперечный профиль р.Пур 396.8 км судоходного пути

Поперечный профиль р.Пур
381.8км судоходного пути



Примечание:

Система высот Балтийская

- Отметки уреза воды, м БС.
- Отметки дна, м
- Отметка гарантированной глубины, м

Рисунок 4.6 – Поперечный профиль р.Пур 381.8 км судоходного пути

На рисунках 4.5 и 4.6 видно что минимальные уровни за летне-осенний период с обеспеченностями 95, 97 и 99% находятся ниже гарантированной глубины. На рисунке 4.4 уровень 95% обеспеченности находится чуть выше гарантированной глубины, а 97 и 99% обеспеченности находятся ниже.

Можно сделать вывод, что при наступлении минимальных уровней имеющих большую обеспеченность, судоходство в верховье реки Пур будет невозможно, в связи с глубинами недостаточными для судоходства на реке Пур. Следовательно на таких участках следует проводить комплекс углубительных работ, чтобы избежать прекращения судоходства.

Рассчитанные максимальные уровни обеспеченностями 1,2,5,10% оказались значительно выше известных на модели отметок, из чего можно сделать вывод что при наступлении расходов данной обеспеченности река сильно выходит из своих берегов, затопляя прибрежную территорию.

Сильный подъем уровней также может негативно влиять на судоходную обстановку. Подъем уровней воды может скрыть опасные отмели, и сам судовой ход, в таких случаях необходимо отслеживать и обеспечивать путь знаками судоходной обстановки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была построена цифровая модель рельефа участка реки Пур в ее верховьях. Также были рассчитаны максимальные и минимальные уровни воды различной обеспеченности. Был проведен анализ полученной модели. По полученным данным был выявлены участки реки затруднительные для судоходства и предложены мероприятия для решения проблем в зависимости от ситуации.

Главным выводом работы является то, что использование цифровых моделей в сфере судоходства может существенно облегчать выполнение задач. Главным преимуществом использования моделей является визуализация. С помощью модели можно легко и быстро определить проблемные участки. Получение информации с модели, например поперечные профили, также осуществляется за пару минут. При изменении рельефа, например после проведения дноуглубительных работ, все изменения внести в модель не составит труда. Построенные модели можно также применять в комплексах других программ, позволяющих моделировать физические процессы.

Подводя итог проведенной работы, важно сказать о том, что сфера моделирования активно развивается и с каждым годом предоставляет пользователям всё большие возможности для решения задач. Использование моделей с каждым годом охватывает все больше сфер. Судоходство не исключение, использование цифровых моделей существенно облегчит выполнение задач по его обеспечению.