



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

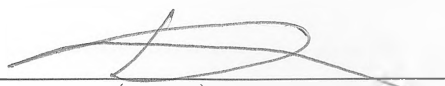
На тему **Расчет размывов русла под мостами при проектировании железных дорог**

Исполнитель Горбенко Олег Юрьевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физ.-мат.наук  
(ученая степень, ученое звание)

Саноцкая Надежда Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

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

Исаев Дмитрий Игоревич  
(фамилия, имя, отчество)

\_\_\_\_\_ 2018г.

Санкт-Петербург  
2018

## ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является обоснование проектных значений русловых деформаций в створе проектируемого мостового перехода, вызываемых расчётными гидрологическими условиями в русловой и пойменной части реки.

Задачи включают в себя: определение гидравлического режима течения, необходимости устройства струенаправляющей дамбы и расчёт величин общего и местного размывов в районе проектируемого искусственного сооружения.

Расчёты проводились для современного состояния реки и состояния при реализации проектных предложений. Расчёт строился на данных гидрологических и геологических изысканий, проведённых промеров отметок дна в створе проектирования и прилегающей области. Общие расчётные положения для выполнения моделирования обусловлены прохождением паводков 10, 5, 2, 1%. Максимальные значения паводковых расходов определены предварительно, но так как продолжительность паводка значительно влияет на максимальный размыв, то крайне важно в расчётах морфологических изменений назначать время прохождения паводков и формировать расчётные гидрографы. Для этого проведены дополнительные исследования в этой области и сформирован расчётный гидрограф.

# 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО РАЙОНА

## **Общее описание района**

Рассматриваемая территория простирается с севера на юг примерно 1000 км (от 62° до 52°40' с.ш.), с запада на восток на 1250 км (от 47° до 68°20' в.д.) и занимает площадь около 822.5 тыс.кв.км. Она принадлежит бассейнам двух больших рек – Камы (бассейн Каспийского моря) и Тобола (бассейн Северного Ледовитого океана), разделенных Уральскими горами.

Бассейн реки Камы рассматривается вместе с водосбором реки Вятки до впадения р.Камы в Куйбышевское водохранилище; бассейн реки Тобола – от устья реки Уй в левобережье и от устья реки Убаган в правобережье, т.е. без его верхней части. На долю бассейна реки Камы приходится примерно 62%, на долю бассейна реки Тобола (в указанных границах) соответственно 38% общей площади района. По общим ландшафтным условиям территория относится преимущественно к лесной зоне и в меньшей степени к лесостепной; в пределы степной зоны она заходит лишь южной окраиной. На Уральском хребте границы этих зон редко смещены к югу, так что горная часть находится почти полностью в лесной зоне.

Несмотря на небольшую высоту, Уральские горы являются рубежом, при переходе через который прослеживается общее изменение природных условий, в том числе и гидрологических.

В соответствии с существующим административным делением на рассматриваемой территории расположены (полностью или частично) Кировская, Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская, Тюменская области, Башкирская, Татарская, Удмуртская республики.

## **Рельеф и геологическое строение**

Западно-Сибирская низменность ограничена на западе линией восточных предгорий Урала – холмами Зауральского плато. Плоская поверхность низменности пересечена широкими долинами левобережных

притоков реки Тобола. Высота междуречий обычно не превышает 130 – 150 м, понижения имеют отметки менее 100 м. Общий облик равнины значительно изменяется в разных ее частях. Для северной таежной части равнины характерно широкое распространение болот. Особенно заболоченные водосборы рек Тавды и Туры. Южнее обширные болотистые пространства сменяются районами с многочисленными озерами, причудливо очерченными. Вблизи гор озера обычно пресноводные с более глубокими чашами. К востоку, в рыхлых породах, озера с солоноватой водой, большей частью мелкие, часто меняющие очертания и размерами площади. Междуречья пространства в лесостепной зоне представляют собой равнины, в пределах которых встречаются невысокие (2- 4 м) плоские бугры, вытянутые в северо-восточном направлении. Между буграми местность нередко заболочена или покрыта солончаковыми почвами.

**Геологическое строение** территории, так же как и рельеф, отличается значительным разнообразием, Уральская горная страна зажата между двумя платформенными образованиями: с запада – Русской платформой, с востока – Сибирской плитой.

Русская платформа и система горного Урала разделены меридиально вытянутыми Предуральским краевым прогибом, который прослеживается в рельефе в виде Юрозано – Сылвинской равнины и Бельской депрессии.

Восточно геологическая граница Урала более условна, так как уральская структура постепенно погружается под мезозойские отложения Сибирской платформы.

Западно-Сибирская низменность в структурно – геологическом отношении представляет собой часть обширной Западно-Сибирской плиты, фундамент которой постепенно погружается по мере удаления от горных поднятий Урала. С поверхности метаморфизованные породы плиты перекрыты мощной толщей (до 200 метров) рыхлых и слабо сцементированный морских верхнемеловых и палеогеновых образований, залегающих горизонтально. Они покрывают многие водоразделы и

заполняют характерные для этой территории меридиально вытянутые узкие грабены (Челябинский и др.). Эти отложения представлены песчаниками и глинами, переслаивающимися с песками.

В четвертичных отложениях преобладают глины и суглинки, в нижней части бассейна реки Тобола распространены супесчаные аллювиальные отложения, по реке Исеть – песчаные.

Карстовые явления связаны, главным образом, с визейскими известняками, но встречаются также в известняках и доломитах среднекаменноугольного, девонского и силурийского возрастов. Карстовые явления присутствуют в четырех районах по нижнему течению рек Нейвы и Режа, на реках Пышме и Исети. Известен карст в районе г. Челябинска и г. Троицка.

Характерной особенностью глубоко карста в районе г. Камено-Уральский является его малая, обводненность. Во всех перечисленных районах встречаются пещеры по берегам рек, карстовые лога и суходолы. Последние особенно типичны для бассейна реки Нейвы (в местах распространения известняков).

### **Почвенный покров**

Неоднородность природных условий района определяет разнообразие его почвенного покрова.

В пределах горных поднятий Урала почти всюду имеет место вертикальная поясность в распределении почв, однако характер поясов, степень их развития и высотное положение сильно меняются по широтным зонам. Некоторые однородные по типу почвы, так же как и горные породы, распространены в виде меридиональных полос.

В Приуралье в направлении с севера на юг прослеживается закономерная смена почв лесной зоны почвами лесостепной и степной зон.

Урал. В предгорьях и лесных районах Северного Урала как на западном, так и на восточном склонах преобладают горно-таежные подзолистые и дерново-подзолистые почвы, развитые на плотных породах.

На высотах 300-500 м распространены бедные гумусом горно-таежные кислые неоподзоленные почвы. На западных хорошо увлажненных склонах выше границы лесов развиты горно-луговые почвы.

На Среднем Урале, вследствие незначительной его высоты, поясность в распространении почв почти не выражена. Здесь почвенный покров отличается значительной пестротой, состоит из горно-таежных подзолистых, типично- и дерново-подзолистых, местами горно-луговых и торфяно-болотных почв.

На западном склоне Южного Урала до высоты 400-500 м преобладают оподзоленные и выщелоченные черноземы, а также серые лесные почвы. По восточному склону на степных участках развиты горные черноземы, под лесом (до высоты 700-800 м) — горно-лесные серые и горно-таежные почвы. Горно-луговые, альпийские почвы распространены в горах на высоте более 900 — 1000 м.

По механическому составу почвы Горного Урала преимущественно щебнистые. Вдоль всего Урала по его наиболее высоким горным вершинам прослеживаются каменистые и галечно-хрящеватые почвы. Почвы, залегающие на массивных кристаллических породах, маломощны, образуют слой всего в 10 -15 см, характеризуются наличием в поверхностном горизонте щебенчатого или каменистого материала. На пологих склонах и террасовых уступах почвы пылевато-суглинистые. На красных пермских глинах западного склона тянутся полосы коричнево-бурых глинистых почв: известнякам сопутствуют мергелисто-известняковые щебенистые почвы.

В поймах рек почвы аллювиальные.

География почв равнинных частей территории более проста.

Восточно-Европейская равнина. На севере равнинной части территории распространены подзолистые песчаные и супесчаные почвы, подстилаемые глинами (мореной). Равнинный рельеф и близость водоупора (на глубине около 1 м) создали благоприятные условия для заболачивания. Среди массивов подзолистых почв на очень плоских слаборенированных

междуречьях, по депрессиям рельефа, по периферии болот развиты подзолисто-болотные почвы. На обширных древних речных террасах, сложенных песками, понижениях формируются торфяные и торфяно-глеевые почвы.

Южнее, под пологом хвойных лесов, на обширной территории распространены дерново-подзолистые почвы, разной степени оподзоливания, большей частью средние- и легкосуглинистые, местами песчаные и супесчаные. По долинам р. Камы и ее притоков песчаные и супесчаные почвы развиты на современных аллювиальных отложениях и в пределах древних террас.

На южной окраине лесной зоны преобладают дерново-подзолистые и серые лесные оподзоленные почвы, большей частью суглинистые и тяжело-суглинистые.

В южной части равнинной территории, в зоне лесостепи, серые лесные почвы сменяются оподзоленными, выщелочными и тучными черноземами на глинистых и суглинистых материнских породах.

На Бугульминско-Белебеевской возвышенности развиты обыкновенные и карбонатные черноземы, содержащие в поверхностном слое много камней и щебенки.

На севере в пределах лесной зоны преобладают подзолистые, подзолисто-болотные и торфяно-болотные почвы на древнеаллювиальных отложениях. По механическому составу эти почвы, так же как и почвы всей низменности, большей частью тяжелосуглинистые и глинистые. Крупные песчаные массивы имеются лишь у верхней части бассейна р. Тавды и в междуречье нижних участков рек Тавды и Туры. К югу от верховьев р. Туры преобладают дерново-подзолистые и отчасти серые лесные почвы, сформировавшиеся на третичных глинах. В понижениях встречаются подзолисто-болотные почвы.

Лесостепная часть низменности отличается пестротой почвенного покрова, сформировавшегося на различных материнских породах в условиях

очень дробного микрорельефа. В приречных расчлененных эрозией относительно хорошо дренированных участках сочетаются оподзоленные и выщелоченные черноземы и серая почва. На плохо дренированных междуречных равнинах развиты комплексы луговочерноземных и черноземно-луговых почв, в различной степени засоленных.

Южнее р. Исети преобладают выщелоченные черноземы; по механическому составу почвы тяжело суглинистые и глинистые. Вдоль р. Тобола встречаются участки более легких почв. Широко распространены солонцы.

Западно-Сибирская низменность — на севере покрыта растительностью лесной зоны, на юге — лесостепной. Южная граница леса в общем соответствует северной границе распространения черноземов и проходит примерно по водоразделу рек Пышмы и Исети, вблизи Урала поворачивает на юг и спускается до верховьев р. Течи.

Южная граница лесостепи почти совпадает с южной границей рассматриваемой территории.

В северной части района (бассейн р. Тавды) преобладают сосновые леса, более густые вблизи

## **Климат**

Положение рассматриваемой территории в центре Евразии определяет резко континентальный характер ее климата, выражающийся в больших колебаниях температуры воздуха как внутри года, так и в течение суток. Наряду с этим велико влияние на климат Урала морских воздушных масс, несущих влагу с Атлантического океана.

Особенности рельефа территории обуславливает наличие хорошо выраженной широтной зональности в изменении климата на равнине и вертикальной поясности в горах Урала. Многоснежная суровая зима и короткое прохладное лето на севере, малоснежная морозная зима и



сравнительно жаркое лето в районах крайнего юга – таковы основные различия климата по широте.

Пестра карта климата горного Урала, для которого характерны различия климатических условий межгорных депрессий, котловин, широких долин и склонов различной ориентации. Однако в горных массивах четко прослеживается изменение климата по высоте. Так, если у подножья гор Южного Урала наблюдается климат, свойственный лесостепи и степи, то для наиболее высоких вершин типичен климат горной тундры. Представляя естественный барьер, Уральские горы затрудняют поступление западных воздушных масс в пределы Сибири, создавая тем самым благоприятные условия для выпадения осадков в Предуралье. В связи с этим в Предуралье осадков выпадает больше, чем в Зауралье. Изменяется по территории и соотношение летних и зимних осадков. Если в бассейне реки Камы летние осадки превышают зимние в 1,5 раза, то в бассейне реки Тобол это соотношение равно примерно трем.

Несмотря на разнообразие условий климат Предуралья и Зауралья имеет некоторые общие черты, определяющиеся характером циркуляции атмосферы на равнинах Европейской и Азиатской территорий России.

Зимой рассматриваемая территория находится под преимущественным влиянием сибирского антициклона, обуславливающим повсюду устойчивую морозную погоду; более многоснежная зима в Предуралье и на склонах гор, малоснежная – на юге Зауралья. Наблюдается частые вторжения холодный воздушных масс с севера, а также прорывы южных циклонов, с которыми связаны резкие изменения погоды.

Летом территория находится в основном в области низкого давления. Нередко происходит вторжение воздушных масс с Баренцева и Карского морей, а также с Азорских островов. В последнем случае на юге рассматриваемой территории наблюдается жаркая и даже засушливая погода.

**Радиационный баланс.** Родовой радиационный баланс на Среднем Урале и в Приуралье составляет 25 – 45 ккал/см<sup>2</sup>год, увеличиваясь с севера

на юг. Максимальная величина радиационного баланса наблюдается как правило в июне (7 – 10 ккал/см<sup>2</sup>месяц); в мае и июле его величина меньше, но отличается от июньского незначительно. Минимум радиационного баланса отмечается в декабре, январе, составляя -1,0, - 1,2 ккал/см<sup>2</sup>месяц в Зауралье и -0,6 ккал/см<sup>2</sup>месяц в Предуралье (ст. Кушнаренково).

Смена знака радиационного баланса происходит в октябре – ноябре и обычно совпадает с началом образования снежного покрова, весной - в марте.

**Температура воздуха.** Средняя годовая температура воздуха равнинной части бассейна р. Камы изменяется с севера на юг от 0 градусов до 3 градусов, в бассейне р. Тобола – от – 2 до 1,5 градусов. Более низкие значения температуры в бассейне р. Тобола связаны с воздействием сибирского антициклона, который обуславливает зимой в Зауралье устойчивую морозную погоду.

В горных районах с увеличением высоты местности над уровнем моря наблюдается понижение температуры на 0,5 – 0,7 градусов на 100 метров. В холодный период градиент температуры меньше, чем в теплый; во многих случаях под влиянием местных особенностей рельефа имеют место температурные инверсии, т.е. наблюдается рост температуры воздуха с высотой. В среднем за год температура воздуха ниже на вершинах гор и в пониженных формах рельефа.

Самый холодный месяц – январь. Средняя температура воздуха в январе повышается с севера на юг, составляя в бассейне р. Камы от – 17 до 14 градусов, в бассейне р. Тобола – 17, -18 градусов. Нарушение широтного изменения температуры января в Зауралье объясняется переохлаждением юго-восточной части территории под влиянием отрогов азиатского антициклона. Абсолютные минимум температуры воздуха приходятся на декабрь – февраль (- 45°, -48° в бассейне р. Камы и -48°, -51° в бассейне р. Тобол). В отдельных районах горной части территории вследствие их

микrokлиматических особенностей возможны более низкие абсолютные минимумы температуры воздуха (ст. Верхняя Косьва  $-54^{\circ}$ ; ст. Растес  $-55^{\circ}$ ).

Переход средней суточной температуры через  $-5^{\circ}$  весной обычно происходит во второй половине марта (в бассейне р. Камы – в течение третьей декады, в бассейне р. Тобола  $-26 - 31/III$ ). Переход температуры воздуха через  $0^{\circ}$  наступает в равнинной части бассейна р. Камы в среднем – около  $5 - 10/IV$ , в бассейне р. Тобола –  $7 - 20/IV$ .

В горных районах весна запаздывает по сравнению с прилегающими равнинами на  $5 - 10$  дней.

Переход средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}$  на юге территории происходит  $18-20/IV$ , на севере – около  $5/V$  в бассейне р. Камы и примерно  $10/V$  в бассейне р. Тобола; в горах он запаздывает на  $10 - 15$  дней, а на отдельных высоких вершинах почти на месяц.

Самый теплый месяц – июль. Средняя температура воздуха в июле на севере района равна  $16 - 17^{\circ}$ , а на юге превышает  $19^{\circ}$ ; особенно жарким лето бывает в равнинной части бассейна р. Белой. В августе температура воздуха понижается, но остается достаточно высокой; в отдельные редкие годы она снижается до  $5^{\circ}$ .

Устойчивый переход через  $5^{\circ}$  осенью происходит в конце сентября – начале октября. В бассейне р. Камы переход через  $5^{\circ}$  наблюдается  $25/IX$  на севере и  $10/IX$  на юге. В бассейне р. Тобола понижение средних суточных температур до  $5^{\circ}$  наступает на  $5$  дней раньше, чем в бассейне р. Камы.

Переход средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}$  на севере района и на Уральском хребте наступает в первой половине, а на юге во второй половине октября. С переходом средней суточной температуры через  $-5^{\circ}$  обычно совпадает образование устойчивого снежного покрова. Зима длится около  $5$  месяцев.

Оттепель зимой – явление редкое и весьма кратковременное. Температура воздуха выше  $0^{\circ}$  удерживается, как правило, только в дневное

время в течение нескольких часов, что не обеспечивает условий для снеготаяния.

### **Атмосферные осадки**

Годовые суммы осадков изменяются по территории в больших пределах. Наибольшее количество осадков выпадает на хребтах и склонах гор. По приблизительным подсчетам с учетом высотного градиента осадков на хребтах высотой 700 – 800 м на севере территории годовые суммы осадков достигают 1300 – 1600 мм. В горных долинах годовая сумма осадков равна 850 – 950 мм. На Среднем Урале в северной возвышенной части годовые суммы осадков составляют 800 – 900 мм, а в южной пониженной части - 600 – 700 мм. Особенно велики изменения осадков на Южном Урале. Если на хребтах высотой 800 – 1000 м осадки по приблизительным подсчетам достигают 1200 – 1500 мм, то на равнинной территории в Предуралье – 500 – 600 мм, а в Зауралье – только 350 – 400 мм.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Большая часть их, 60 – 70% годовой суммы, выпадает в теплый период года. В бассейне р. Камы летние осадки в 1,4 – 1,7 раза превышают зимние, в бассейне р. Тобол – в 2,3 – 3,2 раза. Наибольшее количество осадков за холодный период отмечается в горах Северного и Южного Урала – по приближенным подсчетам 500 – 450 мм; несколько меньше (свыше 300 мм) в долинах р. Белой и ее притоков – рек Зилим, Сим и Уфа (от ст. Архангельское до ст. Караидель).

На остальной территории бассейна р. Камы осадки убывают с севера на юг от 250 до 200 мм, несколько превышая верхний предел лишь в районах Верхне – Камской возвышенности и Сылвинского кряжа.

В бассейне р. Тобол суммы зимних осадков значительно меньше. По восточному склону Уральских гор почти меридиально проходит изогиета в 175 мм; восточнее, в пределах равнины, осадки убывают с севера на юг от 150 до 125 мм.

Распределение по территории осадков за теплый период аналогично распределению годовых сумм, что объясняется большим удельным их весом

в годовых осадках. Осадки за теплый период уменьшаются с севера на юг в бассейне р. Камы от 450 до 350 мм, в бассейне р. Тобола от 400 до 300 мм; в горных районах и на возвышенных западных склонах Уральских гор они достигают по примерным расчетам 750 – 950 мм.

Минимум осадков за год на большей части территории отмечается в феврале и лишь на севере бассейна р. Камы – в феврале или марте, иногда в феврале или апреле. Наибольшее количество осадков наблюдается преимущественно в июле. В горной части территории, а также в пределах западных предгорьев основной максимум сдвигается на октябрь – ноябрь, однако в большинстве случаев он мало отличается от суммы осадков за июль. Число дней с осадками  $> 0,1$  мм колеблется по территории от 125 до 300, уменьшаясь с севера на юг от 200 до 140 дней в Предуралье и от 150 до 110 в Зауралье. Наибольшее число дней с осадками (200 – 300) наблюдается на западных склонах Урала. Осадки  $> 10$  мм на большей части территории наблюдается 10 – 12 дней в году. В горных районах число дней возрастает до 15, а в степной зоне уменьшается до 6 – 8. Число дней с осадками  $> 20$  мм невелико, в среднем 1 – 3 за год.

Средние многолетние суточные максимумы осадков на большей части территории изменяются от 25 до 35 мм, увеличиваясь в горах до 40 – 50 мм. Редко повторяющиеся суточные максимумы осадков, в отличие от средних, изменяются по территории значительно больше.

Ливни частое явление на территории Среднего Урала и Приуралья. В большинстве случаев слой осадков за ливень менее 10 мм, ливней со слоем осадков  $> 10$  мм в среднем за теплый сезон не более 7 ( в равнинных районах 3 – 5, в горных 4 – 7). Ливни со слоем осадков  $< 10$  мм бывают, как правило, кратковременными, а со слоем  $> 10$  мм продолжаются обычно в течение 3 – 9 часов и более; лишь для отдельных выдающихся ливней эта закономерность нарушается.

Интенсивность дождя может достигать 5 – 7 мм/мин и более, но повторяемость таких ливней не превышает 3%. В 40 – 60% случаев интенсивность дождей меньше 0,4 мм/мин.

Несмотря на достаточное и избыточное увлажнение большей части территории в отдельные годы могут наблюдаться засухи, особенно в южных районах. Так, если средняя продолжительность бездождного периода как правило равна 3 – 4 дням, то в отдельные годы она доходит 24 – 35 дней.

**Снежный покров.** Первое появление снежного покрова отмечается в сентябре на севере горных районов, в середине октября — в предгорьях, а к концу октября — на остальной территории.

Первый снег обычно стаивает. Устойчивый снежный покров образуется в конце октября — начале ноября. Интенсивное нарастание снежного покрова происходит в начале зимы (ноябрь — декабрь).

Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова на защищенных равнинных участках убывает с севера на юг от 80-50 см в бассейне р. Камы и до 70-40 см в бассейне р. Тобола. В горных районах она изменяется от 120-150 см (Северный Урал) до 70-80 см (Южный Урал). Высота снежного покрова на открытых участках значительно меньше, чем в лесу или в защищенных от ветра местах.

Максимальные снегозапасы наблюдаются обычно перед таянием снега весной. Распределение их по территории аналогично распределению высоты снежного покрова. Запасы воды в снеге в бассейне р. Камы убывают с севера на юг от 200 до 100 мм, в бассейне р. Тобола — от 130 до 75 мм. Наибольшие запасы воды, превышающие 300 мм, наблюдаются в горной заселенной части территории.

Снеготаяние наблюдается, как правило, при установлении положительных температур воздуха в дневное время еще до устойчивого перехода средних суточных значений через 0 градусов. Обычно оно начинается в третьей декаде марта, продолжаясь 15-20 дней, в равнинной

части территории и более 25 дней в горных районах. Снег стаивает весьма неравномерно, особенно в степных и горных районах.

Раньше исчезает снег с открытых возвышенных мест.

Средняя интенсивность снеготаяния на полевых участках в бассейне р. Камы равна 6-9 мм/сутки, в бассейне р. Тобола — 2-6 мм/сутки. Разница, по-видимому, связана с тем, что таяние основных запасов снега происходит в бассейне р. Камы при более высоких температурах воздуха.

Устойчивый снежный покров на юге равнинной части сходит 5-15/IV (в бассейне р. Тобола 5-10/IV и в бассейне р. Камы 10-15/IV). К 20-25/IV происходит разрушение снежного покрова в северной половине территории.

В горной части района и на севере в предгорьях Урала устойчивый снежный покров сходит в начале мая (ст. Усть-Унья — 1/V, ст. Полюдов Камень — 9/V).

Промерзание почвы. Глубина промерзания почвы зависит от ее влажности, механического состава, высоты и плотности снежного покрова.

Средняя многолетняя величина наибольшей глубины промерзания почвы вследствие уменьшения высоты снежного покрова к югу, при незначительном изменении температуры воздуха по территории, увеличивается с севера на юг от 50 до 100 см в бассейне р. Камы и от 100 до 150 см в бассейне р. Тобола.

Наибольшая глубина промерзания почвы за последние 25-30 лет составляла 60-150 см, а местами на оголенных участках достигала 2-3 м; наименьшая колеблется от 10 до 100 см.

Полное оттаивание почвы на большей части территории происходит обычно в первой декаде мая, на юге бассейна р. Камы — в последней декаде апреля.

**Влажность воздуха.** Средняя годовая величина упругости водяного пара составляет 6-7 мб в бассейне р. Камы и 5,5-6,5 мб в бассейне р. Тобола. Наибольшего значения (13-15 мб) упругость водяного пара достигает в июле, наименьшего (1,5-2 мб) — в январе и феврале.

Относительная влажность воздуха в дневные часы в холодное время года на большей части территории составляет 75-80%, увеличиваясь на севере бассейна р. Камы до 80-85%, а в горных районах до 85-90%.

Минимум относительной влажности воздуха наблюдается в мае-июне (в дневные часы) и изменяется от 45-50% в лесной зоне до 35-45% в лесостепной.

Минимум относительной влажности воздуха наблюдается в мае — июне (в дневные часы) и изменяется от 45-50% в лесной зоне до 35-45% в лесостепной.

Дефицит влажности достигает минимальной величины в декабре — январе. Средняя его величина не превышает 0,5 мб. Максимальная величина дефицита колеблется от 6-7 мб в горных районах до 7-10 мб в равнинных. Наблюдается она обычно в июне.

Ветер. Зимой преобладают южные и юго-западные ветры в бассейне р. Камы и юго-западные ветры в бассейне р. Тобола. Летом направление ветра менее устойчиво. Преобладают ветры северного, северо-западного и западного направлений, но повторяемость не превышает 20-25%. Нередко отмечается по два преобладающих направления, либо с севера и северо-запада, либо с севера и запада.

В горной части под влиянием орографии основное направление ветра сильно меняется. Нередко наблюдаются ветры, дующие вдоль долин (горно-долинные ветры).

Средняя годовая скорость ветра изменяется по территории от 2 до 5 м/сек, а в горах до 10 м/сек в зависимости от степени защищенности местности.

### **Подземные воды и сток их в реки.**

Наименьший подземный приток в реки на большей части территории отмечается в конце зимы перед весенним половодьем. Только для некоторых рек в бассейне р. Тобола (Тагила, Исети, Нейвы, Уя и др.) наименьшая его



величина наблюдается летом в связи с истощением запасов подземных вод из-за интенсивного испарения.

1. Район подземного питания рек водами отложений верхнего мела и верхнего палеогена.

Пластово-поровые и пластово-трещинные подземные воды развиты в отложениях верхнего мела и верхнего палеогена, получивших распространение вдоль восточного склона складчатого фундамента. Воды содержатся в кварцево-глауконитовых песках, песчаниках, конгломератах. В основном за счет этих вод происходит подземное питание рек Уя, Исети, Миасса и некоторых других левых притоков р. Тобола.

2. Район подземного питания рек преимущественно водами отложений верхнего и среднего палеогена.

Воды отложений верхнего и среднего палеогена образуют единый водоносный комплекс. Этот комплекс, развитый в мощной толще песчано-глинистых и песчано-опочных образований, в пределах прирусловых участков характеризуется относительно повышенной водообильностью. На широких междуречных пространствах водоносный комплекс покрыт толщей глин, вследствие чего воды этой территории становятся напорными.

Подземные воды комплекса являются основным источником подземного питания р. Тобола и его левобережных притоков (рек Уя, Исети, Туры и др.) примерно до линии Звериноголовское — Шадринск — Туринск. Восточнее роль этих вод уменьшается, так как водоносные отложения перекрываются водоупорным пластом.

В границах района в подземном питании р. Тобола и его притоков (Туры, Пышмы, Исети и др.) принимают участие также воды древнего и современного аллювия.

3. Район подземного питания рек водами отложений олигоцена и неогена.

Подземные воды развиты преимущественно в толще неогеновых отложений, состоящей из малочисленных песчаных прослоек и линз. Воды

гидравлически связаны между собой и образуют единый водоносный комплекс. Водоносность комплекса весьма неравномерна и в общем незначительна. Средняя глубина залегания вод 5-15 м.

Гидрографическая сеть имеет слабый врез и поэтому участие подземных вод в местном стоке незначительно.

### **Основные направления хозяйственного использования поверхностных вод**

Основным источником водоснабжения г. Челябинска является р. Миасс. Регулирование стока р. Миасс производится преимущественно на верхнем участке рядом водохранилищ, самым крупным из которых является Аргазинское (оз. Аргази).

Дефицит воды в значительной степени устранен в результате постройки в 1966 г. Шершневого водохранилища, расположенного в 6 км выше г. Челябинска. В перспективе, с целью уменьшения дефицита, предполагается ввести дополнительный оборот воды за промышленные нужды. Для этого промышленные и хозяйственно-бытовые стоки через очистные сооружения должны поступать в оз. Второе. Система озер Первое, Второе, Шемогино послужит дополнительным отстойником, пройдя через которую очищенная вода вновь поступит на промышленные нужды города. В дальнейшем для удовлетворения водопотребления г. Челябинска предусматривается переброска воды из верховьев р. Уфы в р. Миасс.

## 2 РАСЧЕТЫ РАЗМЫВОВ РУСЛА ПОД МОСТАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

При расчетах мостовых переходов одним из важных факторов является учет русловых деформаций, возникающих за счет стеснения потока дамбами, перекрывающими поймы, и руслового потока – мостовыми опорами. Надежность расчётных методов в значительной степени определяет надежность работы мостовых переходов. Однако, как в отечественной, так и в зарубежной практике эксплуатации мостов нередки случаи их разрушения из-за подмыва промежуточных опор. Причинами этого является несовершенство методов прогноза и расчета глубин размыва у опор мостов. К сожалению, сложное взаимодействие вихревой структуры потока у мостовой опоры с грунтом русла не представляется возможным описать средствами гидромеханики или одномерной гидравлики. Поэтому приходится использовать данные натурных и лабораторных экспериментов для выявления основных факторов и зависимости глубины местного размыва от них. Исходя из этого рассмотрим физическую картину процесса размыва и выполним анализ влияния основных факторов, определяющих ее.

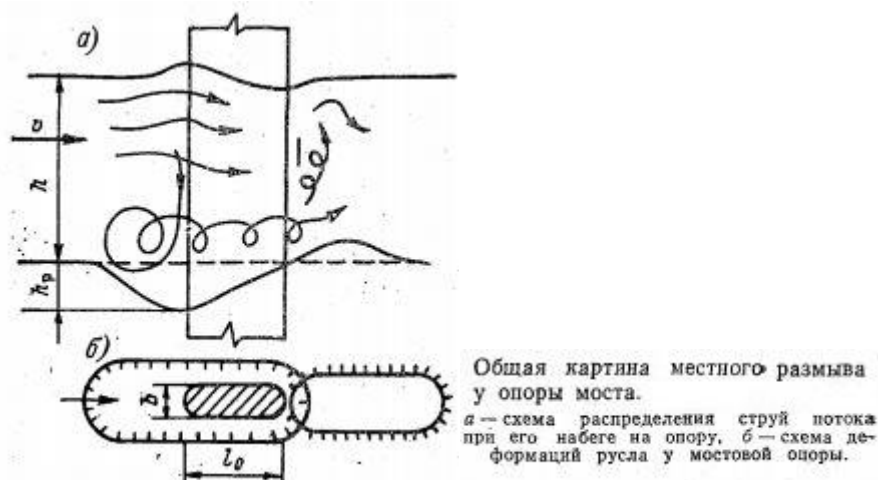
Сооружения мостовых переходов, стесняя реку, повышают интенсивность турбулентности потока и увеличением его скорости в подмостовом русле, что сопровождается увеличением его глубин, вызывая тем самым общий размыв русла. Около опор мостов поток резко изменяет свою структуру и, взаимодействуя с грунтом русла, вызывает его интенсивный размыв, называемый местным размывом у мостовых опор. Помимо этих двух видов деформаций, возникающих под влиянием возведения мостовых переходов, необходимо учитывать тип руслового процесса и соответствующие ему русловые деформации.

Наименее изученным из этих деформаций является местный размыв. Общая картина процесса местного размыва представлена на рисунке..... Как видно на рисунке, струи потока, набегая на опору, ударяются о ее

поверхность и изменяют свое направление. По бокам опоры из-за местного сжатия образуются скорости, превышающие примерно в 2 раза скорости потока. Со стороны лобовой грани струи потока расслаиваются. В верхней части потока они устремляются вверх, образуя на ширине опоры стоячую волну набега, т.е. кинетическая энергия потока переходит в потенциальную. Это приводит к образованию нисходящих течений на передней грани опоры с тупым носом, которые, опускаясь и отталкиваясь от дна, изменяют свое направление на обратное по отношению к направлению течения потока, а затем вблизи дна закручиваются в вихрь. Этот донный вихрь, или валец, с горизонтальной осью вращения подковообразно охватывает опору, а его струи захватывают частицы грунта и большую их часть выносят за пределы опоры ниже течению.

Размыв у боковых граней опоры несколько опережает, размыв перед лобовой гранью, но по происшествию некоторого времени блоковые размывы соединяются с размывами у лобовой грани опоры и здесь образуется наибольшая глубина воронки размыва.

Форма опоры в значительной степени определяет интенсивность турбулентности и как следствие глубину размыва около нее. Поэтому учет формы, являющейся независимым фактором, обычно выполняется с помощью коэффициента формы опоры  $K_f$ .



За опорой возникает кильватерная система вихрей, причем в непосредственной близости от нее в зоне разряжения восходящих струй

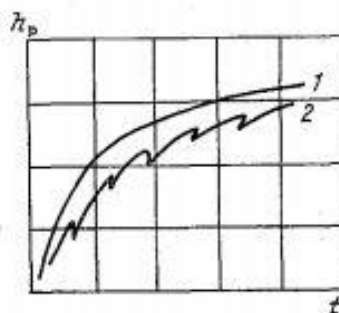
образуются самостоятельные вихри с вертикальной осью вращения. За опорой интенсивность вихрей уменьшается, но шлейф от повышенной турбулентности верхних слоев потока тянется на несколько длин опоры.

Глубина местного размыва зависит от скоростей потока, глубины воды перед опорой, расхода и режима перемещения наносов. Значительное влияние на глубину размыва и характер их изменения оказывает донногрядовый режим перемещения наносов. Если наносы не поступают в воронку размыва, то зависимость глубин от времени эксперимента представляет собой плавную линию. При донногрядовом режиме движение наносов они поступают в воронку размыва неравномерно, поэтому зависимость  $h_p = f(t)$  имеет пульсирующий характер рисунок..... Особенно большие пульсации глубин размывов наблюдаются при поступлении в воронку размыва мезоформ (ленточных гряд и др.)

Глубина и форма воронки размыва у опор также зависит от рода грунтов, слагающих русло рек. Особенно различаются размывы в связных и несвязных грунтах. К сожалению, размывы в связных грунтах изучены еще недостаточно.

Глубины местных размывов имеют свои пределы, так как основные параметры потока и русла, определяющие глубину размыва, имеют ограниченные значения. Изучение и расчет глубин местного размыва у опор мостов, безусловно, имеют большое практическое и научное значение, так как в значительной степени определяют надежность работы мостов.

Хронологический график изменения глубин местного размыва русла при отсутствии наносов (1) и при их поступлении в воронку размыва в виде рифелей (2) по В. С. Муромову.



Формула В.С. Мурамова

$$h_p = \left( h_0 + 0,014 \frac{V - V_k}{\omega} b \right) K_\phi K_K$$

$V$  - Средняя скорость потока

$h$  - Средняя глубина

$K$  и  $K_{85}$  - Средние крупности наносов

$b$  - Ширина опоры

$K_K$  - Коэффициенты формы и косины струй

$h_0$  - Глубина размыва при скоростях, равных критическим, вычисляемая по формуле

$V_k$  - критическая скорость, м/с

$\omega$  - Гидравлическая крупность

$$h_0 = \frac{6,2\beta_0 h}{\left(\frac{V_k}{\omega}\right)^{\beta_0}}$$

Коэффициент  $\beta_0$  определяется по формуле

$$\beta_0 = 0,18 \left(\frac{b}{h}\right)^{0,87}$$

Для грунта, состоящего из разных фракций, гидравлическую крупность определяют по формуле

$$\omega = \sum \omega_i p_i / 100$$

$p_i$  = весовое содержание фракций в грунте, %

$\omega_i$  = средняя гидравлическая крупность данной фракции грунта

$$V_k = 3,6 \sqrt[4]{hk}$$

Формула Инглиса

Данная формула считается в футах. 1 фут = 0,304 м

$$h_p = 1,73h^{0,78}b^{0,22} - h$$

Формула Джайна

$$h_p = 1,84h^{0,17}b^{0,70} \left( \frac{V_k}{\sqrt{g}} \right)^{0,25}$$

Формула Журавлева

$$h_p = h^{0,60}b^{0,40} \left( \frac{V}{V_{\text{ВЗВ}}} \right)^m K_\phi K_K$$

$V_{\text{ВЗВ}}$  - скорость взмучивания, м/с

$$V_{\text{ВЗВ}} = \sqrt[3]{g\omega h} \left( \frac{h}{k} \right)^{0,06}$$

Если  $(V/V_{\text{ВЗВ}}) > 1$ ,  $m=1,0$

Если  $(V/V_{\text{ВЗВ}}) < 1$ ,  $m=0,67$

В нашем случае  $m=1,00$

Формула Союздорнии

$$h_p = 1,1\sqrt{bh} \left( \frac{V}{V_{\text{ВЗВ}}} \right)^m K_\phi K_K$$

3 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МЕСТНОГО РАЗМЫВА ПРОЕКТИРУЕМОГО  
МОСТА ЧЕРЕЗ р. ТЕЧА



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения расчётов получены гидравлические характеристики и величины морфологических изменений русла при четырёх расчётных паводках (обеспеченностью 1%, 2%, 5% и 10%) и обнаружено:

- a) за счёт сужения русловой и пойменной части при реализации проектных предложений наблюдается повышение уровня воды относительно определённого в ходе гидрологических изысканий (не учитывающее наличие проектируемого сооружения). Повышение составляет 0,20 м при  $P=1\%$ ;
- b) при реализации проекта моста максимальные скорости течения в русле при  $P=1\%$  увеличиваются не более чем на 10%;
- c) определены максимальные скорости (диапазон скоростей) течения в русле, на пойме и у конструктивных элементов моста;
- d) гидравлически обоснована необходимость устройства струенаправляющей дамбы;
- e) имеются вдольбереговые размывы в зоне примыкания к проектируемому бетонному креплению, определены максимальные глубины и длины ямы размыва;
- f) за рядом промежуточных опор, ниже по течению в «затенённых» областях с пониженными скоростями течений наблюдаются шлейфы намыва;
- g) размывов у струенаправляющей дамбы и береговых опор не наблюдается. Три из четырёх промежуточных опор также не подвержены размыву. Четвёртая опора подвержена размыву без оголения подошвы плиты ростверка.

В виде рекомендаций предлагается рассмотреть в проектных вариантах возможность продления области берегового крепления или предусмотреть другие способы защиты в зоне размываемой береговой линии. Также важно пересмотреть в сторону повышения проектную отметку гребня

струенаправляющей дамбы, т.к. начальные конструктивные варианты размеров и отметок дамбы базировались на гидрологических изысканиях, не учитывающие перспективное заужение потока реки проектируемым мостовым сооружением.