Государственный комитет СССР
по гидрометеорологии и контролю природной среды

Государственный
ордена Трудового Красного Знамени
гидрологический институт

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЕТУ
деформаций речных русел при проектировании инженерных сооружений на реках зоны Байкало-Амурской железнодорожной магистрали

Рекомендованы к изданию Госкомгидрометом
25 марта 1982 г., № УНИ—55—101

Ленинград Гидрометеоиздат 1983

gost.e-ecolog.ru

УДК 556.536/537 : 626/627 (571.5)

Научный редактор канд. техн. наук **Б. Ф. СНИЩЕНКО**

Проектирование всех сооружений на реках зоны БАМ требует специального обоснования в части учета деформаций русел рек. В Рекомендациях сформулированы основные требования по учету руслового процесса, предъявляемые к проектированию всех видов сооружений на реках зоны БАМ, изложено описание типов русел рек этого региона, даны рекомендации по расчетам русловых деформаций и их гидравлическому моделированию, помещены фактические сведения о характеристиках руслового режима рек зоны БАМ.

Рекомендации предназначены для проектировщиков, строителей и эксплуатационников сооружений, возводимых в руслах, на берегах и поймах рек зоны БАМ, а также для гидрологов, геоморфологов, гидротехников и гидравликов, занимающихся прикладными исследованиями рек этого региона. Рекомендации носят временный характер.

Р 1903030200-098
069(02)-83 без объявл.

© Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (Госкомгидромет), 1983 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации составлены в Государственном гидрологическом институте в соответствии с указанием УГМО Госкомгидромета № УГМО-42/435 от 7 апреля 1980 г. о передаче материалов по уточнению гидрометеорологических условий в районах строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ) проектным организациям МПС и Минтрансстроя. Рекомендации предназначены для учета деформаций русел рек при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений в руслах и на поймах рек, расположенных в зоне трассы БАМ.

Рекомендации носят предварительный характер, поскольку еще не обобщают опыт строительства и эксплуатации сооружений, расположенных на реках зоны БАМ. Они содержат общие положения по учету руслового процесса при проектировании любых инженерных сооружений на реках региона, которые позволяют принципиально верно выбрать местоположение сооружения на реке, оценить приемлемость его конструкции и необходимость проведения защитных мероприятий. В Рекомендациях изложены методы расчета русловых деформаций, которые могут использоваться для проектирования некоторых видов сооружений, возводимых на реках зоны БАМ. Включение в состав Рекомендаций данных, полученных на реках зоны БАМ и непосредственно освещающих их русловой режим (типизация руслового процесса и карта типов русел, данные по гранулометрическому составу донных наносов рек, материалы наземного гидроморфологического обследования рек), позволит более экономично и эффективно решать вопросы проектирования объектов, особенно на ранних стадиях проектирования, сократить объем изыскательских работ, повысить надежность эксплуатации сооружений и др.

Масштабы инженерного вмешательства в режим рек зоны БАМ исключительно велики, его последствия могут быть неожиданными и неблагоприятными и проявляться в течение весьма длительного периода времени, поэтому уже в ближайшие годы необходимо приступить к комплексному изучению деформаций русел рек на участках расположения различных видов сооружений, чтобы последовательно разрабатывать рекомендации применительно к этим сооружениям. В первую очередь это касается

карьеров по добыче аллювия из русел и пойм рек для строительных целей. Подобные исследования позволят уточнить общий нормативный документ по учету русловых деформаций, более полно учитывающий интересы всех водопользователей на реках зоны БАМ.

Настоящие Рекомендации составлены по результатам теоретических и лабораторных исследований отдела русловых процессов ГГИ, натурных наблюдений этого отдела и аэрокосмической лаборатории ГГИ на реках зоны БАМ, а также типизации руслового процесса рек зоны БАМ, выполненной в аэрокосмической лаборатории.

Рекомендации составлены канд. техн. наук Б. Ф. Снищенко (руководитель работ, разделы 1—3), канд. техн. наук З. Д. Копалиани (разделы 4, 5, приложения 3, 5), ст. инж. Д. В. Снищенко (разделы 3, 4, приложения 1, 2, 4, 6).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации разработаны для учета деформаций речных русел при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений в руслах и на поймах рек, расположенных в зоне трассы БАМ.

1.2. Рекомендации разработаны на основе обобщения материалов ГГИ, полученных при исследовании отдельных частных вопросов руслового процесса рек зоны БАМ, и имеющихся в ГГИ разработок по оценке руслового процесса при проектировании на разных реках страны отдельных видов инженерных сооружений. Поэтому настоящие Рекомендации носят предварительный характер и вплоть до разработки более детального документа должны рассматриваться как временные.

Для разработки детальных Рекомендаций необходимо проведение специальных исследований на реках зоны БАМ с учетом опыта строительства и эксплуатации сооружений трассы.

1.3. Рекомендации содержат методические указания по определению типа инженерного сооружения по характеру взаимодействия его с русловым процессом; по оценке типа руслового процесса, плановых и глубинных деформаций речных русел; содержат фактические сведения по распространению типов руслового процесса на реках зоны БАМ (карта типов), по темпам плановых деформаций, по характеристикам потока и донным наносам.

1.4. Рекомендации предназначены для организаций, занимающихся инженерными изысканиями, проектированием, строительством и эксплуатацией всех видов инженерных сооружений, располагаемых в руслах и на поймах рек, пересекаемых трассой БАМ, и на реках, вдоль которых прокладывается трасса.

1.5. Проектирование каждого инженерного сооружения на реке должно выполняться с учетом задач комплексного использования и охраны водных ресурсов и с учетом комплексного использования водопотребителями всей реки или ее участка.

1.6. При выборе на реках мест размещения сооружений, при выборе их конструкций и размеров, назначении защитных мероприятий должны быть максимально сохранены морфологические черты участка и условия протекания естественных гидрологических процессов.

1.7. Проектирование всех сооружений должно вестись на основании специальных гидрологических изысканий.

1.8. Проектирование сооружения на участке реки необходимо производить с учетом следующих характеристик гидрологического и руслового режима:

— плановых и глубинных деформаций русла на расчетный период эксплуатации сооружения;

— значений и направления скорости течения в разные фазы водного режима и при изменении прогнозируемой морфологической ситуации;

— характеристик ледовых и термокарстовых явлений (времени замерзания и вскрытия реки, толщины льда, возможности возникновения и мощности заторо-зажорных образований и их влияния на режим потока и русловых деформаций, возможности промерзания потока с учетом прогноза морфологической ситуации, влияния наледных и термокарстовых явлений на изменение морфологической и гидравлической ситуации).

При этом в условиях рек зоны БАМ особо должны быть учтены характеристики и проявления пойменного процесса:

— глубина и продолжительность затопления поймы;

— скорости потока на пойме, в том числе в местах сосредоточенных течений при затоплении и опорожнении поймы;

— деформации пойменного рельефа, в том числе возможность превращения второстепенных рукавов в главные;

— возможность и сроки переработки пойменного массива русловым потоком;

— возможность воздействия ледовых полей и ветровых волн, развивающихся в пойме, на сооружения.

При проведении на пойме строительных работ, ведущих к нарушению строения поверхности поймы и стеснению пойменного потока, необходимо учитывать возможные изменения скоростного режима этого потока и пойменного рельефа и их влияние на условия эксплуатации сооружений.

1.9. Особое внимание следует обратить на учет изменений гидрологического, руслового и гидрогеологического режима реки при выборке песчано-гравийно-галечного материала из русел и пойм рек зоны БАМ для транспортного, гражданского и промышленного строительств.

Следует иметь в виду, что устройство карьеров на реке приводит в общем случае к следующим изменениям гидрологического, руслового и гидрогеологического режима, обнаруживаемым на значительном расстоянии от выемки как на самой реке, так и на устьевых участках ее притоков: падению уровней воды, увеличению уклонов водной поверхности, росту скоростей потока, увеличению расхода донных наносов, снижению отметок дна, внезапному изменению планового положения русла, снижению положения депрессионных кривых в толще склоновых и пойменных террас, активизации оползневых явлений.

Следствием указанных процессов является разрушение или снижение устойчивости сооружений. Возможность проявления отрицательных последствий выемок аллювия на реках трассы

БАМ как для инженерных сооружений, так и для самого природного объекта — реки требует разработки соответствующего нормативного документа.

1.10. Прогнозирование деформаций речных русел и пойм следует выполнять с учетом дискретных представлений о морфологическом строении русел и пойм: речных макроформ (например, излучин с пойменным массивом), русловых мезоформ (побочней, осередков, ленточных гряд), русловых микроформ (гряд), т. е. в соответствии с основными положениями гидроморфологической теории руслового процесса.

1.11. Для определения типа руслового процесса и оценки фактических русловых деформаций следует пользоваться космическими снимками, аэрофотосъемками, картографическими и топографическими материалами, землеустроительными планами, материалами разных проектно-изыскательских организаций, данными собственных изысканий.

1.12. Для составления прогнозов русловых процессов на участках русел с интенсивным или сложным характером деформаций, а также в наиболее ответственных случаях установки сооружений следует проводить подробные гидроморфологические исследования руслового процесса с привлечением специализированных организаций Госкомгидромета или других ведомств.

1.13. При наличии сложной морфологической ситуации и сложной системы защитных сооружений или особо ответственных проектируемых сооружений для обоснования их проектов необходимо предусматривать проведение лабораторных исследований на гидравлических моделях участка реки.

1.14. В проектах сооружений, возводимых на реках зоны БАМ, необходимо предусматривать проведение натурных наблюдений и обследований после постройки сооружений, особенно если на участке реки устраиваются карьеры по добыче песчано-гравийной смеси.

2. ИНЖЕНЕРНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

В настоящем разделе излагаются принципы учета форм взаимодействия руслового процесса с инженерными сооружениями и построенная на их основе классификация сооружений, принципы выделения видов русловых прогнозов и классификация прогнозов.

Классификация инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом

В соответствии с целевой основой прогнозов учет руслового процесса должен выполняться применительно к требованиям водопотребителей при проведении ими конкретных инженерных мероприятий на реках. Как правило, эти мероприятия осуществ-

ляются с помощью различных сооружений, возводимых в русле и на пойме реки.

Естественный процесс видоизменения русла и поймы под действием текущей воды может осложняться присутствием в реке сооружения. Одновременно и само сооружение может испытывать воздействие как естественного, так и видоизмененного процесса переформирования русла. Все многообразие сооружений и видов проявления руслового процесса создает большое число форм взаимодействия между ними. В каждом конкретном случае прогноз русловых деформаций может быть составлен лишь на основании научной систематизации или классификации указанных форм взаимодействия. Для практических целей более удобно классифицировать не формы взаимодействия, а сооружения, распределив их по соответствующим формам взаимодействия с русловым процессом.

2.1. В соответствии со степенью инженерного влияния на определяющие факторы руслового процесса все речные инженерные сооружения и мероприятия разделяются на два класса: активные и пассивные (рис. 2.1). Возведение активных сооружений приводит к изменению определяющих факторов; пассивные сооружения влияния на определяющие факторы не оказывают. Как известно, к определяющим факторам относятся жидкий сток, твердый сток и условия, ограничивающие свободное развитие русла.

2.2. Активные сооружения подразделяются на две категории. Строительство сооружений I категории приводит к однонаправленному необратимому изменению большинства характеристик определяющих факторов в масштабе всей реки. Эти изменения могут касаться любого числа определяющих факторов: одного, двух или трех. Поскольку закономерное сочетание определяющих факторов создает конкретный тип руслового процесса, их изменение может привести в первую очередь к смене типа макроформ, к возникновению новых значений характеристик потока и русла. Последнее, как известно, приводит к изменению русловых образований на других структурных уровнях, т. е. на уровнях мезоформ и микроформ. В силу больших размеров и капитальности этих сооружений указанные изменения русловых форм не оказывают на них заметного влияния.

В состав сооружений I категории включены: плотины гидроузлов, строительство которых приводит к изменению жидкого и твердого стока и ограничивающих факторов; мостовые переходы, предмостовые дамбы которых перегораживают пойму, стесняют развитие русла и способствуют созданию нового режима движения воды и наносов; мероприятия по существенному отъему жидкого стока из рек и каналов межбассейнового перераспределения воды, вызывающие коренную перестройку режима твердого стока ниже отвода; мероприятия по обводнению рек при использовании их в качестве трактов переброски стока или при

сбросе в них воды, подаваемой по каналу; массовые выемки аллювия из русел и пойм рек.

Зона влияния указанных сооружений и мероприятий может

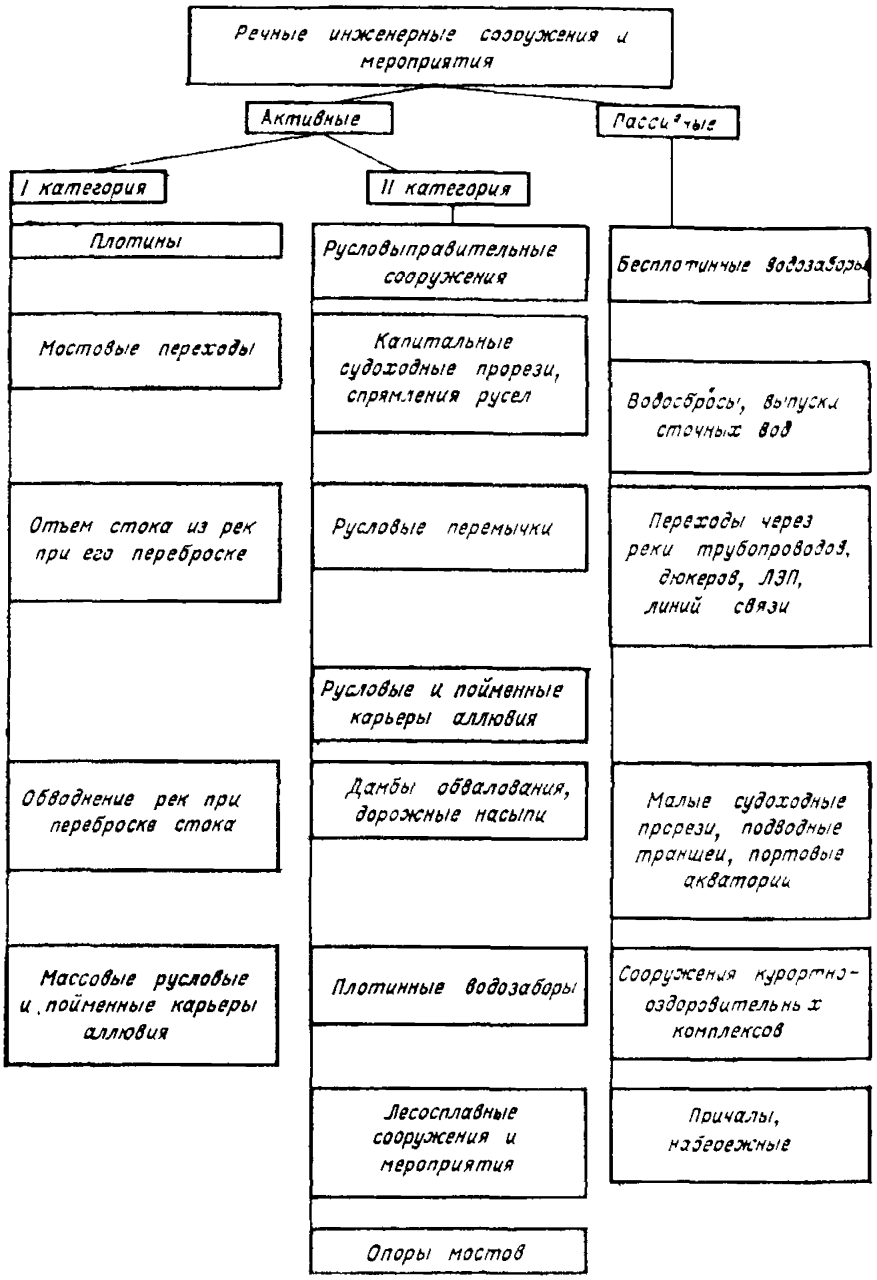


Рис. 2.1. Классификация речных инженерных сооружений и мероприятий по характеру взаимодействия с русловым процессом.

простираться как на всю длину реки, так и на ее часть, охватывая ряд макроформ или морфологически однородных участков. Однако в том и другом случае осуществление сооружений I категории практически всегда приводит к перестройке русловых форм на всех структурных уровнях.

Поскольку каждый случай рассматриваемого инженерного воздействия в разной степени затрагивает характеристики определяющих факторов, то происходящее при этом изменение русловых форм также будет проявляться по-разному. По этой причине не может быть разработана единая схема воздействия сооружений этой категории на определяющие факторы и русловой процесс; также схемы должны разрабатываться применительно к каждому случаю инженерного воздействия. Это важное обстоятельство нашло отражение в предлагаемой ниже классификации русловых прогнозов.

Заметим, что в состав сооружений I категории могут включаться и другие виды инженерного воздействия, сходные с ними по характеру воздействия на русловой процесс. Это замечание относится и к рассматриваемым ниже группам сооружений.

2.3. Возведение сооружений II категории приводит к локальному изменению некоторых характеристик определяющих факторов. Оно, как правило, не затрагивает коренной перестройки типа русла, а касается лишь развития русловых образований на уровне мезоформ и микроформ. Поэтому устойчивость таких сооружений всегда зависит от естественных изменений русел на уровне макроформ. Влияние на устойчивость сооружений II категории мезоформ и микроформ будет проявляться в той степени, в какой эти сооружения нарушили режим потока и русла, определяющий параметры указанных русловых образований.

Состав сооружений II категории указан в классификационной таблице (см. рис. 2.1). Среди них можно выделить группу сооружений, возводимых с целью управления русловым или пойменным процессом. Это русловыправительные сооружения (запруды, полузапруды, шпоры, струенаправляющие дамбы, берегозащитные покрытия и т. п.); крупные судоходные прорези и прорези-каналы, спрямляющие излучины русел; дамбы обвалования. Их проектирование должно вестись с учетом следующего принципа инженерного воздействия: проектируемые сооружения должны так воздействовать на определенные морфологические элементы русловых форм, чтобы с их помощью можно было решить наиболее эффективно задачу по управлению русловым процессом на данном участке реки.

Не вошедшие в рассмотренную группу сооружения II категории по своему воздействию на русловой процесс близки к руслорегулирующим сооружениям. Так, дорожные насыпи, устраиваемые на пойме вдоль русла реки, оказывают на русло влияние, подобное эффекту одностороннего обвалования; воздействие одиночных подводных карьеров можно сравнить с мероприятиями по устройству дноуглубительных прорезей и спрямлению русла и т. д.

В некоторых случаях строительство таких сооружений, как дамбы обвалования, подводные карьеры и плотинные водозаборы может приводить к заметному изменению определяющих факторов руслового процесса и русловых форм на всех структурных уровнях. Это наблюдается при обваловании нескольких

морфологически однородных участков реки, при изъятии из карьеров больших объемов аллювия, значительно превосходящих объемы естественного твердого стока; при многолетней аккумуляции руслоформирующих наносов в водохранилищах водозаборов. В указанных случаях названные сооружения II категории могут быть отнесены к инженерным сооружениям I категории.

2.4. Строительство на реке пассивных сооружений не приводит к изменению определяющих факторов руслового процесса. Конструктивные особенности, размеры, местоположение и продолжительность эксплуатации сооружений таковы, что они не могут изменить на сколько-нибудь заметном протяжении ни гидравлические параметры потока, ни режим транспорта наносов, ни ограничивающие факторы руслового процесса. В указанном смысле это антиподы сооружений I категории. В некоторых случаях при массовом возведении на реке подобных сооружений их эффект воздействия на определяющие факторы может быть таким же, как у активных сооружений. Например, подобное явление встречается тогда, когда на реке имеется много небольших водозаборов.

В противоположность сооружениям I категории пассивные сооружения подвержены влиянию всех типов русловых форм. Как и в группах активных сооружений, необходимо рассматривать взаимодействие русловых форм и пассивных сооружений дифференцированно, раздельно по каждому виду сооружений.

Переформирование макро- и мезоформ может привести к нарушению устойчивости всех видов пассивных сооружений, указанных на рис. 2.1. Перемещение микроформ может не оказывать влияния на такие сооружения, как опоры ЛЭП, дюкеры, набережные, но оно станет определяющим в процессе занесения малых прорезей, подводных траншей, оголовков рассеивающих выпусков сточных вод и водозаборов.

Следовательно, учет руслового процесса при проектировании пассивных сооружений состоит в определении тех русловых форм, под влияние которых попадает конкретное сооружение, и в определении диапазона этих русловых деформаций. Если сооружение нельзя разместить за пределами найденных границ деформаций, задача его размещения решается одним из следующих способов:

— путем стабилизации русла с помощью руслорегулирующих сооружений II категории;

— путем отыскания нового, приемлемого по развитию деформаций, участка местоположения сооружения;

— путем разработки принципиально новой конструкции сооружения, позволяющей избежать влияния русловых деформаций.

2.5. Классификация сооружений имеет самостоятельное значение как одно из средств решения практических задач по учету руслового процесса при строительном проектировании на реках. Пользование ею предопределяет порядок проектирования в части учета руслового процесса. В соответствии с этим порядком дол-

жны быть определены: класс и группа, к которым относится сооружение; тип руслового процесса; вид русловых форм, взаимодействующих с сооружением, и схема этого взаимодействия; диапазон русловых деформаций в расчетный период эксплуатации сооружения; плановое и высотное расположение сооружения; возможность совмещения проектируемой конструкции сооружения с диапазоном и интенсивностью деформаций русла и поймы; пути разработки новой конструкции сооружения в случае несовместимости его с характером русловых деформаций; схема инженерных мероприятий по регулированию руслового процесса на участке размещения.

Принципы выделения русловых прогнозов, прогнозируемых элементов и характеристик руслового процесса

2.6. Применительно к русловому процессу прогноз может быть определен следующим образом: прогноз руслового процесса — это предвычисление в пространственном или временном интервале любого изменения морфологического строения русла, основанное на знании закономерностей развития русловых процессов, определяющих это явление в конкретных условиях данного водотока.

2.7. Исходя из природы руслового процесса, практических потребностей его учета при строительном проектировании и опыта других наук, в настоящее время целесообразно различать русловые прогнозы по следующим признакам: по общецелевому назначению, по генезису водотока, по виду водотока, по схеме взаимодействия с инженерными сооружениями и мероприятиями, по времени предвычисления, по методам предвычисления.

В соответствии с намеченными признаками предлагается различать виды русловых прогнозов, указанные в классификации (табл. 2.1).

2.8. По признаку общецелевого назначения выделяются прогнозы научно-познавательные, инженерные и природоохранные. Первые разрабатываются для целей развития наших знаний о природных процессах, происходящих на Земле вне связи с конкретными запросами практики. Инженерные прогнозы учитывают требования потребителей, связанные с хозяйственной деятельностью на реках. В любом случае строительного проектирования необходимо оценить последствия инженерного воздействия на природные объекты. Однако при проведении некоторых крупных инженерных мероприятий должны выполняться специальные прогнозы руслового процесса, которые по своему объему могут значительно превосходить прогнозы, предназначенные для оценки устойчивости возводимых сооружений. Именно по этой причине и введены в классификацию специальные природоохранные прогнозы.

2.9. Признак «генезис водотока» введен в целях разделения прогнозов, выполненных для естественных и искусственных во-

Таблица 2.1

Классификация прогнозов русловых процессов

Признаки классификации прогнозов	Виды прогнозов
По общецелевому назначению	Научно-познавательные Инженерные Природоохранные
По генезису водотока	Прогнозы для естественных водотоков Прогнозы для искусственных водотоков
По виду водотока (реки)	Прогнозы для равнинных рек Прогнозы для горных рек Прогнозы для рек в особых условиях (мерзлота, карст, др.)
По характеру взаимодействия инженерных сооружений с русловым процессом	Прогнозы при сооружениях I категории Прогнозы при сооружениях II категории Прогнозы при пассивных сооружениях Прогнозы на урбанизированных участках рек
По времени предвычисления	Прогнозы стадий развития русловых форм Прогнозы циклов развития русловых форм
По методам прогнозов	Гидроморфологические Гидравлико-морфологические Моделирование

дотоков и прежде всего для рек и каналов. Надо иметь в виду, что к искусственным водотокам следует относить не только каналы — инженерные сооружения в традиционном представлении, но и каналы-реки с заданными типами процесса, перспектива создания которых в будущем становится все более реальной.

2.10. Общие закономерности руслового процесса, свойственные всем водотокам, протекающим в деформируемых средах, все же имеют разный характер проявления в зависимости от природных условий. Поэтому целесообразно ввести разделение прогнозов по признаку «вид водотока». В соответствии с ним следует различать прогнозы для равнинных рек, рек, протекающих в горных странах, и для тех или других рек, находящихся в таких природных или искусственно созданных условиях, которые могут создавать особый характер протекания русловых процессов. Таков русловой процесс в реках зоны вечной мерзлоты, карстовых областей и др. При сплошной стабилизации русел рек (закреплении их берегов или дна) также могут наблюдаться специфические формы проявления руслового процесса.

2.11. Основанием для выделения прогнозов по признаку «характер взаимодействия инженерных сооружений с русловым процессом» может служить классификация сооружений, рассмотрен-

ная в п. 2.1. В соответствии с выделенными в классификации группами сооружений следует дифференцировать русловые прогнозы по этим группам, т. е. различать прогнозы при активных сооружениях I категории, II категории и пассивных сооружениях. Кроме того, в рассматриваемую группу прогнозов следует включить прогнозы руслового процесса на урбанизированных участках рек, характеризуемых сложным взаимовлиянием множества сооружений разных классов.

2.12. По времени предвычисления или по заблаговременности предвычисления элементов гидрологического режима в гидрологии различают прогнозы краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные, наделяя их абсолютным значением интервала времени. Такое деление в русловом процессе представляется некорректным, так как при этом не определяется теоретическое основание деления. Действительно, в абсолютном выражении время протекания явлений руслового процесса на разных структурных уровнях весьма различно. Так, время прохождения песчаными грядами своей длины (период их движения) колеблется от минут до десятков суток; период сползания мезоформ составляет от нескольких суток до нескольких лет; полный же цикл развития макроформ, например излучин, может продолжаться и сотни суток и сотни лет. Поэтому в качестве основания для деления русловых прогнозов по времени целесообразно считать не разные интервалы времени в его абсолютном выражении, а время полного генетического цикла развития русловой формы или явления на определенном структурном уровне.

В связи с тем что расчетное время эксплуатации сооружения, на которое выполняется прогноз, по продолжительности может существенно уступать времени полного цикла развития русловой формы, целесообразно ввести еще один вид временно́го прогноза, а именно прогноз стадий развития русловых форм, т. е. отдельных частей полного цикла.

2.13. Метод прогноза русловых процессов должен отвечать задачам исследования или проектирования, сложности явления руслового процесса, точности прогноза и др. Поэтому в группу прогнозов, выделяемых по признаку «методы предвычисления», должно входить несколько прогнозов, различаемых по указанным выше требованиям к методу прогноза. Этим требованиям отвечают применяемые в теории русловых процессов методы прогнозов, которые можно свести к трем основным: гидроморфологическим, гидравлико-морфометрическим и моделированию.

2.14. Генетической основой классификации прогнозов служат свойства руслового процесса, которые могут быть выражены через элементы и характеристики руслового процесса. На рис. 2.2 представлена классификация элементов и характеристик руслового процесса, которые подлежат прогнозированию.

Основное свойство руслового процесса — его дискретность, отражает в классификации разделение русловых форм на следую-

щие шесть типов: отдельные частицы русловых наносов, русловые микроформы, русловые мезоформы, речные макроформы, морфологически однородные участки, состоящие из однородных мезоформ или макроформ, весь водоток. Приведенные в табл. 2.1 виды прогнозов должны выполняться применительно к соответствующим русловым формам.

При разработке прогноза необходимо учитывать направленность изменения русловых форм, т. е. их деформации. Русловые

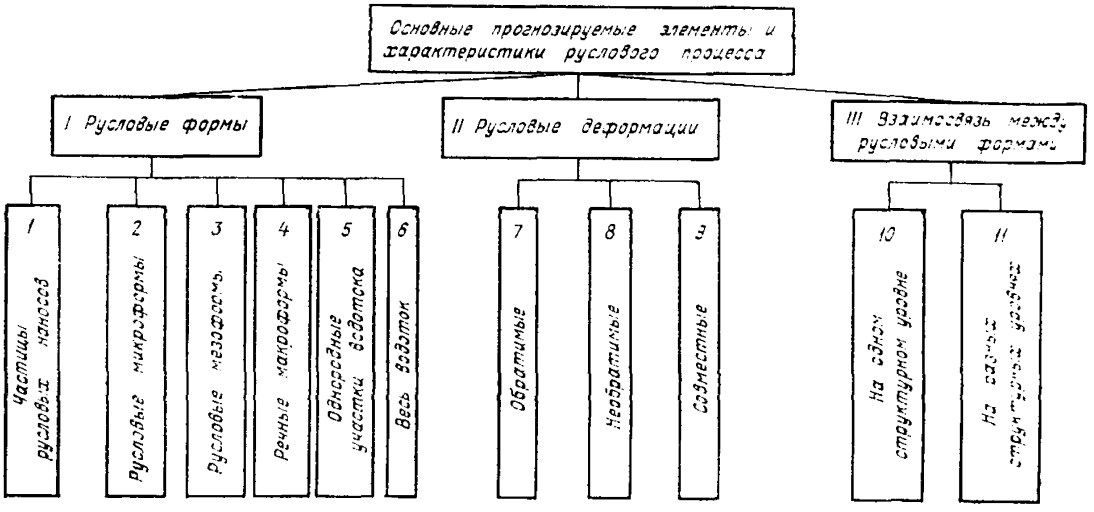


Рис. 2.2. Классификация основных прогнозируемых элементов и характеристик руслового процесса.

деформации разделяются на обратимые, необратимые и совместные. Применительно к отдельным частицам рассматриваются, естественно, не их деформации, а изменения речного дна при бесструктурном транспорте наносов.

Важным свойством руслового процесса является взаимодействие между дискретными русловыми формами. Оно может проявляться на одном или на разных структурных уровнях руслового процесса. Например, искусственное спрямление излучины на морфологически однородном участке свободно меандрирующего русла может привести к изменению процесса развития всей серии меандр. Оно вызовет также нарушение естественного режима движения мезо- и микроформ, особенно на нижележащем участке.

В общем случае генезиса русловых форм деформации каждой из них зависят от стадии развития смежных русловых образований.

Отмеченная особенность проявления руслового процесса должна учитываться при составлении русловых прогнозов.

3. ТИПЫ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА И ИХ ОЦЕНКА

Типы руслового процесса на реках зоны БАМ

3.1. Все возможные схемы деформаций русел равнинных рек, включающие начальную, промежуточную и конечную стадии развития, в соответствии с гидроморфологической теорией руслового процесса ГГИ, следует подразделять на семь типов (рис. 3.1). Направление стрелки на рис. 3.1 показывает увеличение транспортирующей способности потока. На рисунке указаны также основные морфометрические измерители различных типов руслового процесса.

3.2. Проявление выделенных в гидроморфологической теории типов руслового процесса на реках зоны БАМ (рис. 3.2) имеет свою специфику. Кроме указанных типов руслового процесса, в зоне БАМ обнаружены и другие типы — схемы развития деформаций речных русел: вынужденное меандрирование, склоновая многорукавность, горная русловая многорукавность, наледная многорукавность.

3.3. Ленточногрядовый тип руслового процесса на реках зоны БАМ (рис. 3.2, *1*) в основном выделяется на однорукавных немеандрирующих участках рек при наличии местного ограничения извилистости неразмываемыми склонами долины, конусами выносов боковых притоков, широкими оползнями. Русло в плане имеет незначительную и неупорядоченную извилистость, пойма отсутствует.

Русловые деформации сводятся к сползанию крупных песчаных гряд вниз по течению в период половодья. Шаг гряд обычно превосходит ширину русла. Влияние мерзлоты проявляется в очень медленном оползании растительного слоя вместе с деревьями по мерзлому слою берегового склона.

Ленточные гряды встречаются и в руслах меандрирующих рек на участках, где река перенасыщена песчаными наносами за счет поступлений с обрушаемых берегов, в основном на участках выхода морены.

3.4. Русловая многорукавность (осередковый тип) (см. рис. 3.2, *2*) возникает в условиях перегрузки потока наносами при большой их подвижности. Для их транспортирования река использует весь продольный уклон долины и вырабатывает широкое распластанное русло. Русло реки, взятое в целом, не меандрирует, хотя элементы меандрирования могут возникать в отдельных протоках. Донные наносы перемещаются в виде беспорядочно расположенных гряд больших размеров, частично обсыхающих в межень, и образующих осередки. В некоторых случаях осередок закрепляется растительностью, способствующей оседанию наилка, и превращается в остров. Поймы при русловой многорукавности относятся к островному типу, могут иметь большие размеры, сохраняют следы многих коротких проток, частично действующих при прохождении паводков. Русловые

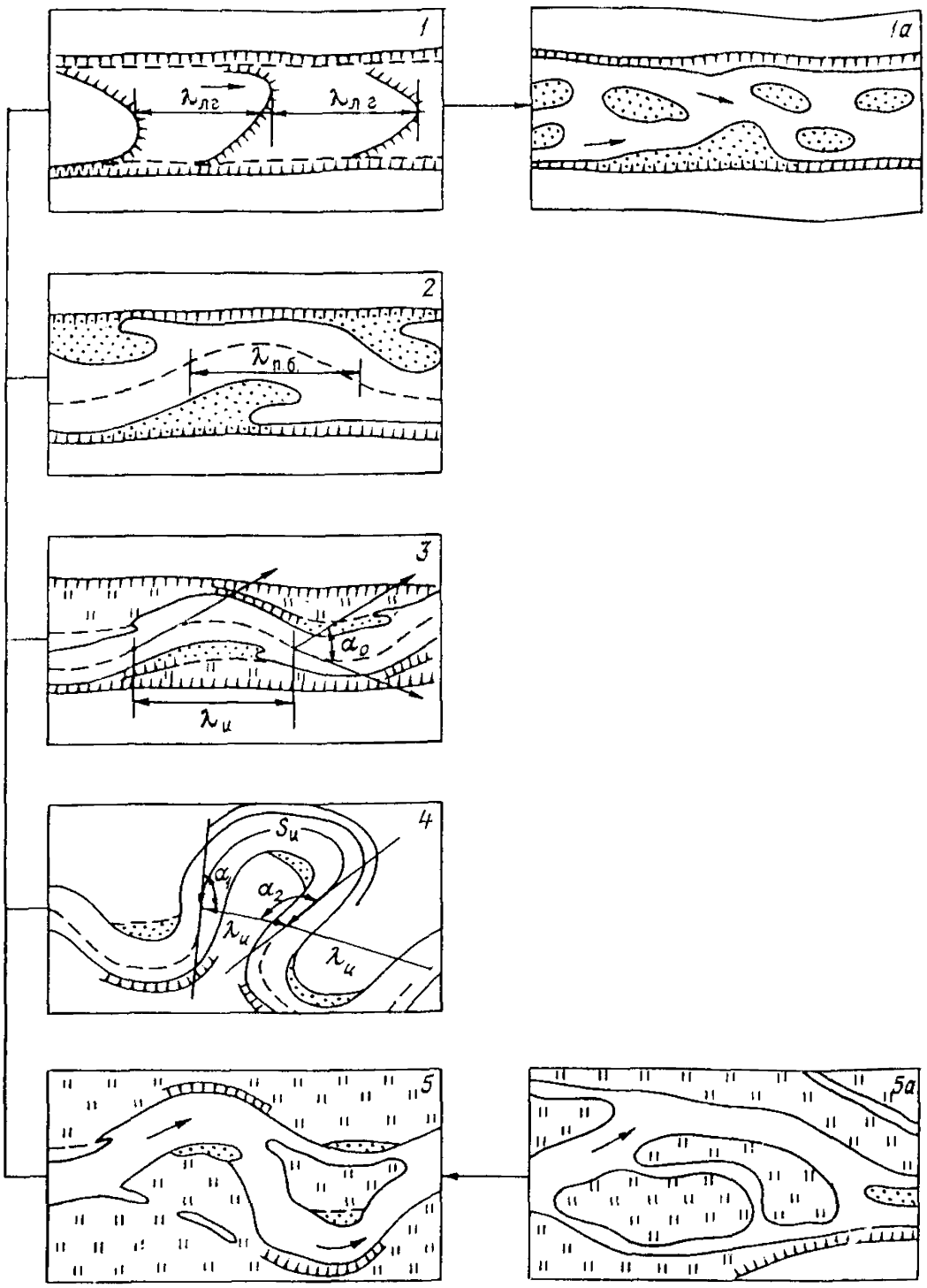
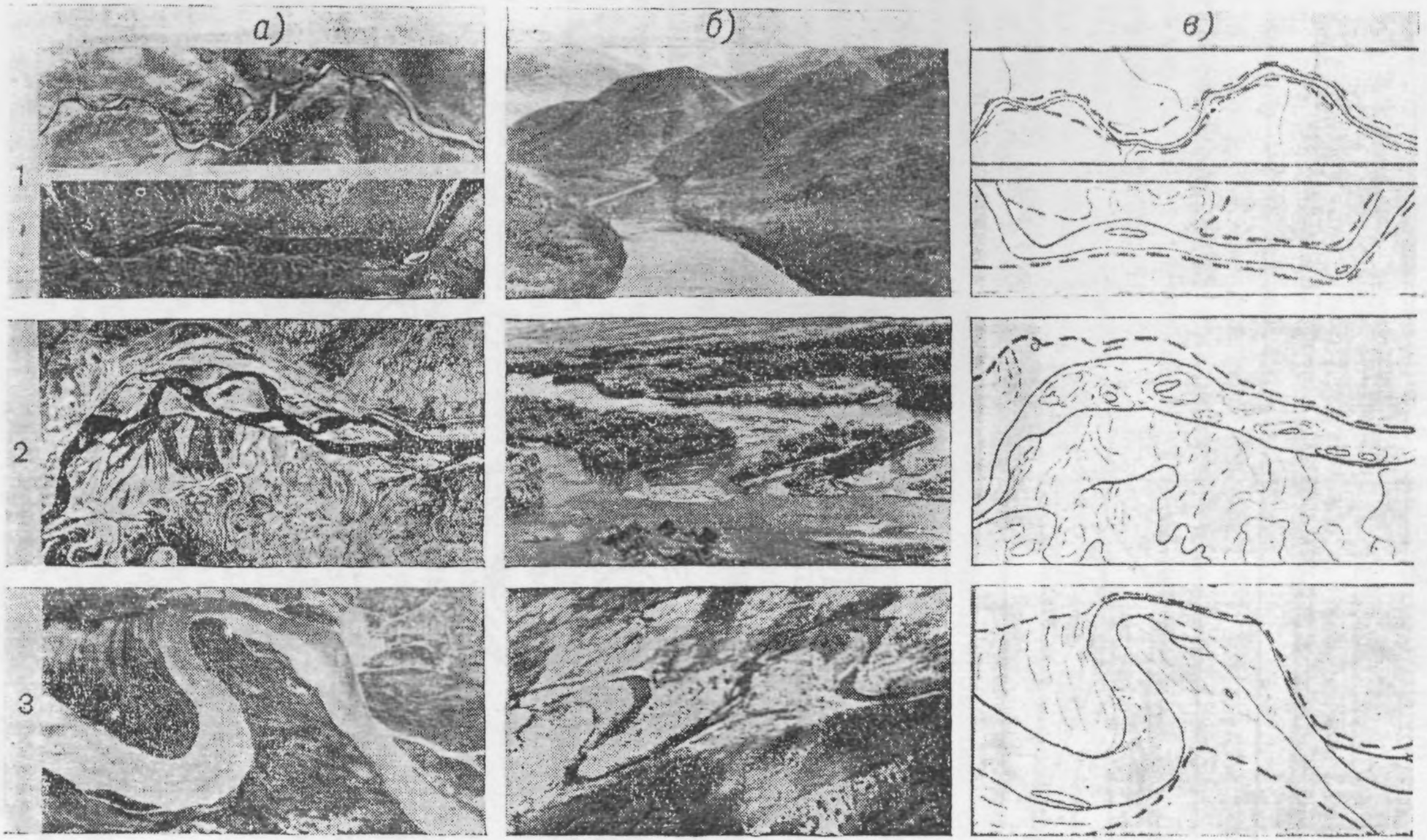


Рис. 3.1. Схема типов руслового процесса по классификации ГГИ (по Н. Е. Кондратьеву, И. В. Попову).

1 — ленточногрядовый, *2* — побочневый, *3* — ограниченное меандрирование, *4* — свободное меандрирование, *5* — незавершенное меандрирование, *5а* — пойменная многорукавность, *1а* — русловая многорукавность; $\lambda_{лг}$ — шаг ленточных гряд, $\lambda_{пб}$ — шаг побочней, $\lambda_и$ — шаг излучины, α_0 — угол разворота излучины, $S_и$ — длина излучины, α_1 — угол входа, α_2 — угол выхода, $\alpha_0 = \alpha_1 + \alpha_2$.


а)
б)
в)
1
2
3

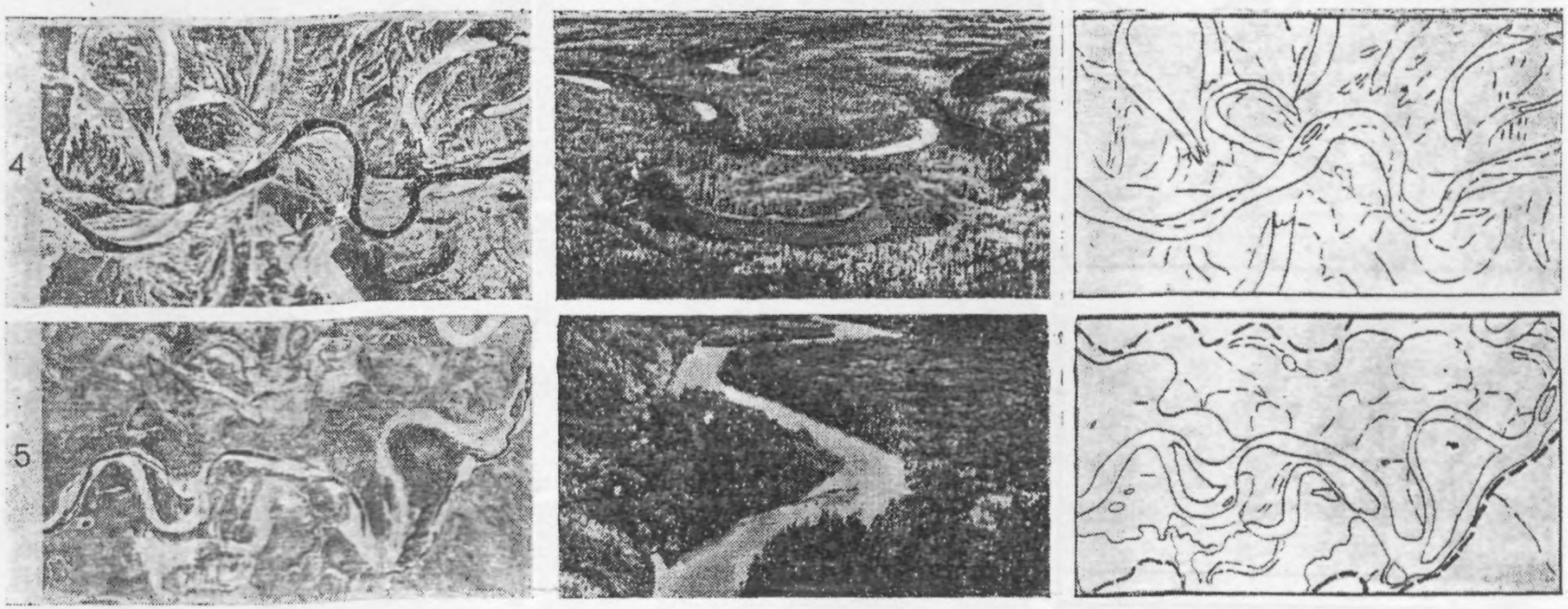
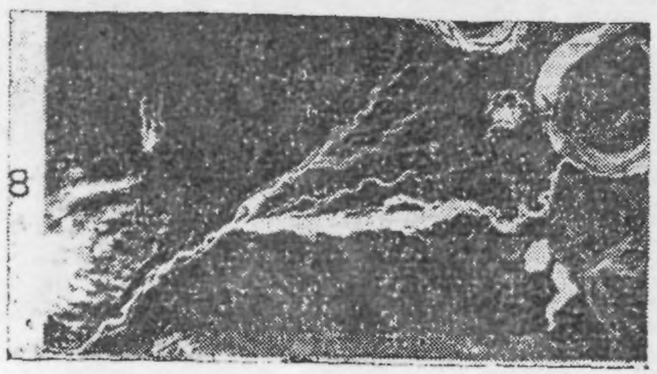


Рис. 3.2. Плановое (*а*), перспективное (*б*) и схематическое (*в*) изображение участков рек зоны БАМ с разными типами руслового процесса.

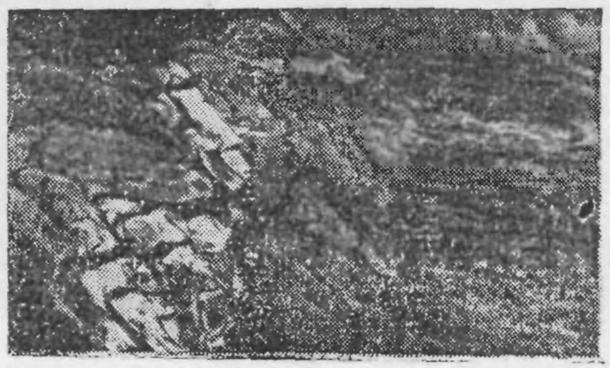
1 — ленточногрядовый и побочневый типы руслового процесса; *2* — русловая многорукавность; *3* — ограниченное меандрирование; *4* — свободное меандрирование; *5* — незавершенное меандрирование; *6*, *7* — пойменная многорукавность; *8* — склоновая многорукавность; *9* — горная русловая многорукавность; *10* — наледная многорукавность; *11* — вынужденное меандрирование. (Перспективные снимки *б*, кроме снимка *3*, получены В. Ф. Усачевым).


6


7


8











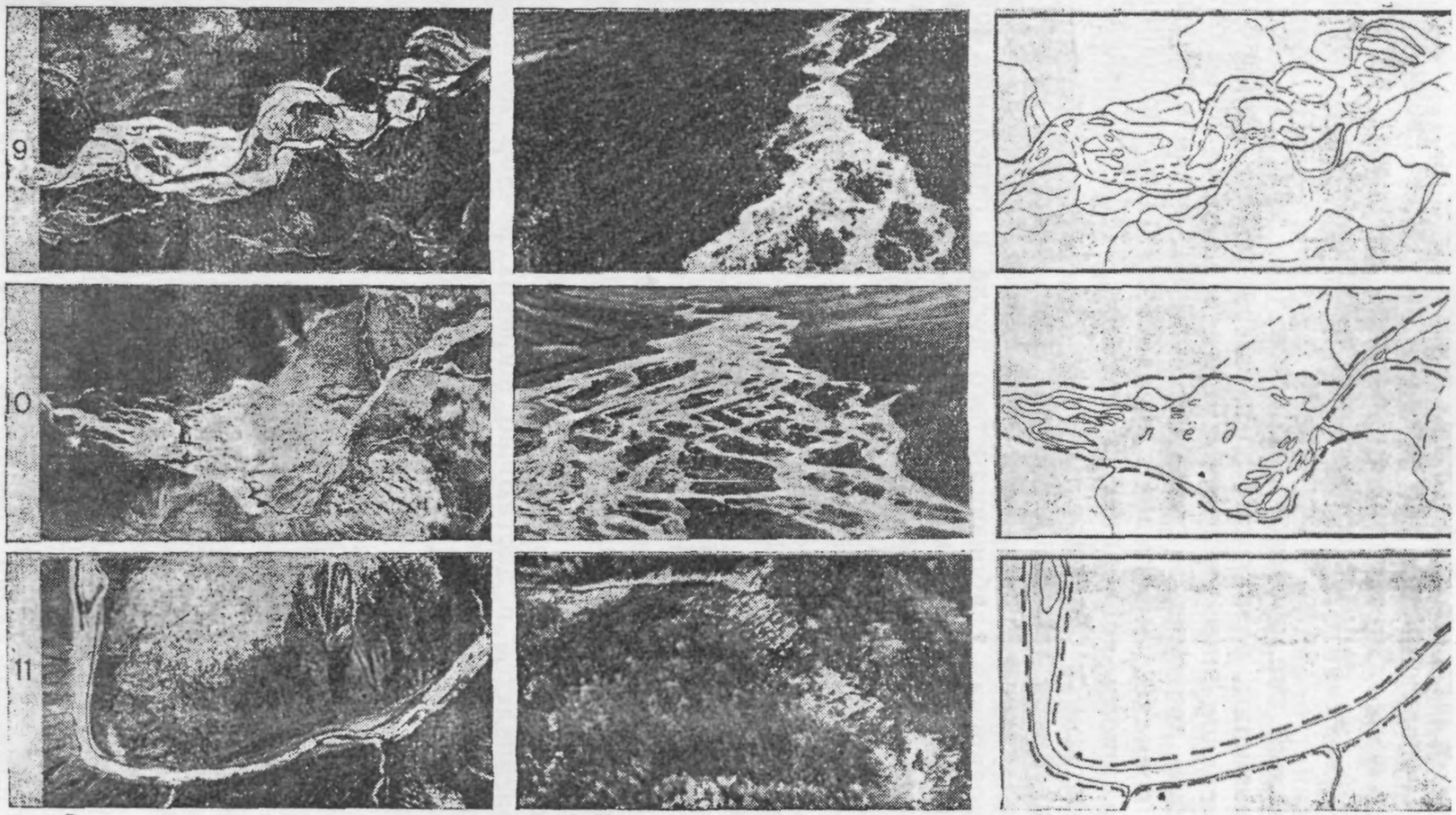


Рис. 3.2. Плановое (*а*), перспективное (*б*) и схематическое (*в*) изображение участков рек зоны БАМ с разными типами руслового процесса.

1 — ленточногрядовый и побочневый типы руслового процесса; *2* — русловая многорукавность; *3* — ограниченное меандрирование; *4* — свободное меандрирование; *5* — незавершенное меандрирование; *6*, *7* — пойменная многорукавность; *8* — склоновая многорукавность; *9* — горная русловая многорукавность; *10* — наледная многорукавность; *11* — вынужденное меандрирование. (Перспективные снимки *б*, кроме снимка *3*, получены В. Ф. Усачевым).

деформации выражаются в перемещении гряд и осередков, в образовании новых проток и отмирании существующих, а также в изменении плановых границ основного русла в результате меандрирования отдельных прибрежных проток.

Русловая многорукавность на реках зоны БАМ возникает чаще всего на фоне других типов руслового процесса и как самостоятельный тип руслового процесса наблюдается на коротких участках.

3.5. Побочневый тип руслового процесса (см. рис. 3.1, 3.2, *1*) является дальнейшим развитием ленточногрядового. Прибереговые участки перекошенных ленточных гряд в межень обсыхают, прекращают свое движение и образуют побочни, расположенные в шахматном порядке. Деформации русла сводятся к сползанию побочней и сезонному колебанию их отметок. Побочни нередко отторгаются потоком от берегов.

3.6. Ограниченное меандрирование (см. рис. 3.2, *3*) — это дальнейшее развитие и усложнение побочневого процесса, выражающееся в появлении слабоизвилистого русла и отдельных пойменных массивов, приуроченных к каждой излучине реки. Пойменные массивы подмываются с верховой стороны и наращиваются с низовой, что и приводит к сползанию излучин.

Плановые русловые деформации сводятся к сползанию вниз по течению излучин и пойменных массивов, причем сама форма русла и поймы не претерпевает заметных изменений. Высотные деформации в русле сводятся к снижению гребней перекатов в межень и восстановлению их в половодье. В плёсе высотные деформации имеют противоположное направление. Влияние мерзлоты проявляется в общем замедлении плановых изменений, что выражается в своеобразном обрушении подмываемых берегов — «обрушении—оползании».

3.7. Свободное меандрирование на реках зоны БАМ (см. рис. 3.2, *4*) развивается в достаточно широких речных долинах, склоны которых не ограничивают свободное развитие плановых деформаций излучины. Для свободного меандрирования характерна широкая пойма со староречьями и береговыми валами.

При свободном меандрировании излучина проходит замкнутый круг развития, состоящий из нескольких этапов. В начальной стадии развития излучина сползает вниз по течению (при углах разворота, не превышающих 120°). При дальнейшем увеличении угла разворота сползание излучины приостанавливается, но ускоряется ее разворот. Развитие излучины завершается сближением подмываемых берегов выше- и нижерасположенных смежных излучин, прорывом перешейка, переходом всего потока в прорыв и отмиранием отпавшей излучины.

Многолетняя мерзлота в ряде случаев вызывает отклонение от типичного плавного хода развития излучин, перестраивая рисунок русла и поймы в плане и изменяя темпы русловых деформаций.

Для данного типа руслового процесса при наличии многолетней мерзлоты характерны следующие особенности.

а. Отторжение устьевых участков притоков в процессе развития излучин, образование участков с пойменной многорукавностью.

б. Выравнивание и понижение отметок пойменных массивов на участках, где пожарами полностью уничтожен растительный покров. После пожаров возрастает глубина оттаивания мерзлых грунтов, происходит заполнение пойменных емкостей (стариц) оплывшими грунтами, исчезает гривистый рельеф поймы, пойма понижается и заболачивается. На таких поймах растет только травянистая растительность, изредка ерники, лиственные леса не восстанавливаются.

в. Заполнение пойм оплывами со склонов. Солифлюкционные процессы приобретают катастрофические размеры в результате оголения склонов после пожаров и сплошных вырубок леса.

г. Своеобразная форма обрушения подмываемых берегов — «обрушение—оползание».

Обрушение—оползание характерно почти для всех меандрирующих рек в зоне многолетней мерзлоты. Интенсивность оползания верхнего оттаявшего слоя по мерзлому слою различна. При медленном оползании и небольшой высоте меженных берегов (1,5—2,5 м над меженными уровнями) деревья сохраняют вертикальное положение. При возрастании интенсивности оползания деревья наклоняются, обрушиваются в воду, создавая «гребенки» вдоль подмываемых берегов, и перегружают русло топляками.

д. Неплавная извилистость линии берега вдоль всей излучины часто образуется в результате обнажения старых навалов деревьев. При развитии излучин (при переработке пойменного массива) река вскрывает на подмываемых берегах старые навалы деревьев, погребенные под слоем наносов и хорошо сохранившиеся в условиях многолетней мерзлоты. Старые навалы затормаживают процесс меандрирования и могут рассматриваться как ограничивающий фактор.

3.8. Незавершенное меандрирование (см. рис. 3.2, *5*) опознается на аэрофотоснимках по наличию на некоторых излучинах меандрирующей реки спрямляющих протоков. Спрямляющий проток может отчленить сразу несколько излучин. Стадия развития излучины, при которой появляется спрямляющий проток, связана с глубиной затопления поймы: чем глубже затопление поймы, тем на более ранней стадии развития излучины появляется спрямляющий проток.

По мере развития спрямляющего протока замедляются плановые деформации основного русла и происходит постепенное его отмирание. Спрямляющий проток при своем возникновении может иметь случайные плановые очертания, подчиненные местным неровностям поймы. Со временем возникают средние русловые формы, позднее появляются признаки меандрирования.

Эта общая замедленность процесса не исключает в отдельных случаях больших скоростей перемещения береговой линии.

Незавершенное меандрирование на реках зоны БАМ в основном приурочено к участкам перехода от горных рек к равнинным, на которых галечно-валунный материал еще заполняет бо́льшую часть поверхности русла и пляжей. В нижней части таких участков, в местах перехода к свободному меандрированию, галька остается только на перекатах и приверхах песчаных пляжей. Наибольшее количество «провалов» и обнажений погребенных льдов на подмываемых берегах наблюдается в основном на участках с незавершенным меандрированием.

3.9. Пойменная многорукавность (см. рис. 3.2, *6*, *7*) отличается наличием широкой поймы, в которой река протекает многими рукавами. Выделить основное русло среди многочисленных протоков не всегда удается. Острова, образованные протоками, представляют собой участки поймы и обладают плановой устойчивостью. Отдельные рукава имеют значительную протяженность и могут рассматриваться как самостоятельные реки того или иного типа.

Участки с пойменной многорукавностью приурочены к устьевым участкам больших рек и к участкам выхода из узкой щелеобразной долины в широкую.

3.10. Горная склоновая многорукавность (см. рис. 3.2, *8*) наблюдается при выходе горных потоков из узких долин на склоны долины главной реки. В этом случае чаще всего полностью исчезает действие ограничивающего фактора. Поток веерообразно растекается по склону, создавая свой конус выноса, но сохраняет еще значительные уклоны. При прохождении селей и при паводках редкой обеспеченности поток меняет положение основного русла (блуждание по склону). Выносы селей оседают у подножия общего конуса выноса. На приустьевых участках конусы выноса выдвигаются на пойму главной реки, постепенно уменьшая ее размеры, иногда полностью перекрывают пойму, стесняют русло и даже частично перегораживают его, создавая подпор на вышележащем участке и увеличивая уклоны на нижележащем. Указанное обстоятельство часто является причиной изменения типов руслового процесса на реках зоны БАМ.

3.11. Горная русловая многорукавность (см. рис. 3.2, *9*) отличается от равнинной бо́льшими уклонами, бо́льшей крупностью донных наносов. Поток не выходя за пределы паводочного русла формирует осередки и побочни. При быстром спаде уровней они сохраняют свои размеры и формы. В межень поток управляется руслом. Протоки имеют небольшую длину и направлены под разными углами к основному водотоку, вплоть до прямого.

На участках с горной русловой многорукавностью русло и пойма сложены из крупного валунно-галечного материала. На таких участках чаще всего расположены глубокие «талики», спутниками которых являются гигантские тополя и ива «чозения». Крупный грубообломочный материал поступает непосредственно



Рис. 3.3. Плановое изображение (*а*), перспективное (*б*) и схематическое (*в*) изображение стока по мари.

со склонов долины. Хорошо окатанный очень крупный материал оседает на отдельных участках после периодически проходящих селей.

3.12. Наледная многорукавность (см. рис. 3.2, *10*) — это русловая (чаще всего горная) многорукавность на участках наледных полян. Наледь перестраивает русловую многорукавность, расширяет русло, уменьшает уклоны, способствует аккумуляции наносов. По картографическим материалам выявляется определенная связь между отношениями уклонов и ширины русла соответственно на участке выше наледи (русло сжато) и на участке наледи (резкое расширение русла). При расширении русла в 3 раза наледь, как правило, образуется без изменения уклонов, а при расширении русла в 6 раз уклоны уменьшаются примерно в 4 раза.

На участках с наледной многорукавностью полностью отсутствует древесная растительность на островах; они покрыты карликовой растительностью. Исключение составляют острова, отсеченные наледью от коренного берега, отметки которого выше ледяного поля.

Отмечена неустойчивость в плане всех протоков и островов. Площадь зарастания осередков примерно в 2 раза больше площади размыва островов. Это частично подтверждает наличие интенсивной аккумуляции, но в основном объясняется живучестью карликовой растительности, которая перемещается вниз по течению на обрушенных почвогрунтовых массивах. После подрезки массивов потоком растительность оседает на осередках, способствуя их быстрому зарастанию. В паводок после оттаивания жильных льдов образуются новые протоки. Они имеют вид узкой глубокой канавы. Поток расширяет канаву, превращая ее в русло.

3.13. Вынужденное меандрирование (см. рис. 3.2, *11*) на реках зоны БАМ встречается на участках рек с преобладающим влиянием ограничивающего фактора. Ограничивающий фактор здесь целиком определяет характер руслового процесса. В результате бокового ограничения потока образованы прямолинейные участки или вынужденные горные излучины, следующие изгибам долины. На таких участках иногда видны зачаточные поймы. В основном поймы отсутствуют, много порогов и водопадов, которые могут быть как следствием выхода коренных пород в русле, так и результатом обвала глыб с отвесных склонов долины. Транспорт донных наносов бесструктурный. Пляжи и острова служат как бы перевалочными пунктами для наносов. Часто они сложены из крупных камней и не меняют своего местоположения. Как правило, вынужденное меандрирование встречается на верхних и средних участках горных рек.

При проведении типизации руслового процесса на реках зоны БАМ выделены участки, на которых нет выраженного поверхностного стока — сток по мари (рис. 3.3). Подобные участки встречаются в верховьях малых притоков, когда сток воды осуществляется по всей ширине долины, а также на приустьевых участках некоторых притоков там, где после уничтожения растительного покрова наблюдаются обширные оплывы по склонам.

3.14. Результаты картирования типов руслового процесса, описанных в пунктах 3.1—3.13, представлены в приложении 1.

3.15. В приложении 2 представлены материалы наземного обследования русел рек Муи, Муякана, Куанды, Чары, полученные с использованием аэрофотосъемок, а также данные о крупности донных наносов на реках трассы БАМ (приложения 3—5).

Оценка возможности изменения типа руслового процесса при инженерном вмешательстве

3.16. Оценка возможности изменения типов руслового процесса рассматривается применительно к основному виду инженерной деятельности на БАМ, наблюдающейся на реках, а именно, к строительству на поймах дорожных насыпей, дамб обвалования и предмостовых насыпей. Возведение этих сооружений приводит к изменению в первую очередь одного из трех определяющих факторов руслового процесса — ограничивающего фактора, характеризующего свободное развитие русла в плане. Изменение ограничивающего фактора при указанных видах строительства состоит в уменьшении ширины активной поймы B_0 и ширины пояса руслоформирования $B_{п.р}$. Степень сжатия амплитуды плановых колебаний потока характеризуется уклоном реки I и уклоном дна долины I_0. Относительные значения ширины активной поймы $B_0/B_{п.р}$, ширины пояса руслоформирования $B_{п\ р}/B$ и уклона дна долины I_0/I характеризуют тип руслового процесса (здесь B — ширина русла на уровне меженных бровок).

3.17. На графике $B = f(B_0)$ (рис. 3.4) каждая кривая характеризует область существования определенного типа руслового процесса, необходимым условием образования которого является определенное значение относительной ширины активной поймы B_0/B. При сближении бортов долины (при $B = \text{const}$) наблю-

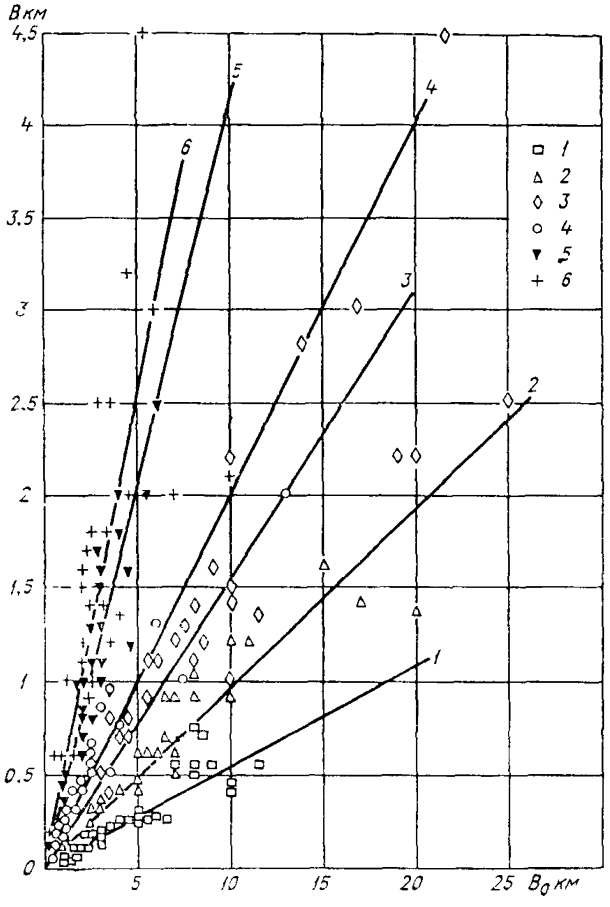


Рис. 3.4. Распределение типов руслового процесса в зависимости от ширины реки B и ширины дна долины B_0.

1 — свободное меандрирование (СМ); *2* — незавершенное меандрирование (НМ); *3* — пойменная многорукавность (ПМН); *4* — ограниченное меандрирование (ОМ); *5* — побочневый тип (ПБ); *6* — русловая многорукавность (РМН)

дается последовательный переход от свободного меандрирования к стадии незавершенного меандрирования, пойменной многорукавности, ограниченному меандрированию, побочневому руслу и русловой многорукавности.

Необходимые условия, при которых реализуется указанная смена типов, состоят в приближенном соблюдении средних значений соотношений B_0/B и $B_{\text{п р}}/B$ (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Значения характерной относительной ширины элементов дна долины при разных типах руслового процесса

Тип руслового процесса	Среднее/стандарт	
	B_0/B	$B_{п.р}/B$
Свободное меандрирование	18,30/4,57	8,86/2,53
Незавершенное меандрирование	10,39/5,70	5,67/1,35
Пойменная многорукавность	6,50/1,79	5,58/1,85
Ограниченное меандрирование	5,11/1,10	3,41/0,71
Побочневый тип	2,43/0,54	1,18/0,24
Русловая многорукавность	1,92/0,64	1,01/0,05

3.18. На графике $I = f(I_0)$ (рис. 3.5) линии свидетельствуют о прямой пропорциональности уклона руслового потока уклону

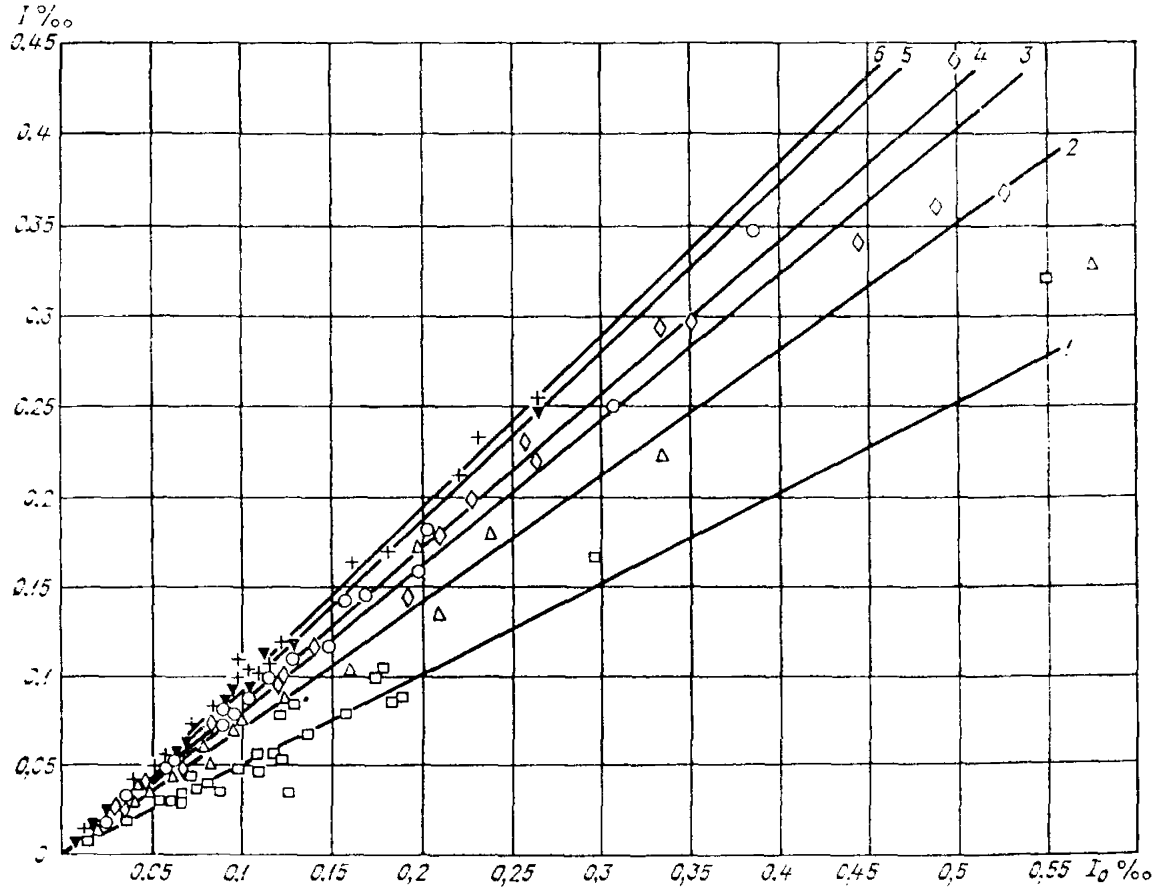


Рис. 3.5. Распределение типов руслового процесса в зависимости от уклонов потока I и дна долины I_0.

Усл. обозначения см. на рис. 3.4.

долины в каждом типе руслового процесса. Прямые $I = f(I_0)$ расположены в той же последовательности, что и прямые $B = f(B_0)$. Изменение относительного значения уклона дна до-

лины при переходе от свободно меандрирующих русел к прямым представлено в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Относительные значения уклона дна долины при разных типах руслового процесса

Тип руслового процесса	Среднее стандарт
	I_0 I
Свободное меандрирование	2,00/0,22
Незавершенное меандрирование	1,41/0,02
Пойменная многорукавность	1,22/0,09
Ограниченное меандрирование	1,16/0,06
Побочневое русло	1,07/0,04
Русловая многорукавность	1,03/0,03

Средний уклон реки на участке макроформы выражается следующей формулой:

$$I = I_0/(0{,}05B_0/B + 0{,}95). \tag{3.1}$$

3.19. Критериальной характеристикой, определяющей тип руслового процесса, является произведение двух отношений:

$$(I_0/I)\,(B_0/B) = A \tag{3.2}$$

или

$$(I_0/I)\,(B_{\text{п. р}}/B) = A_1. \tag{3.3}$$

Связь между указанными параметрами представлена на графиках (рис. 3.6). Между I_0/I и B_0/B существует аналитическая зависимость

$$I_0/I = 0{,}05\,(B_0/B) + 0{,}95, \tag{3.4}$$

а между I_0/I и $B_{\text{п. р}}/B$ —

$$I_0/I = 0{,}04\,(B_{\text{п. р}}/B)^{1{,}4} + 0{,}96. \tag{3.5}$$

Средние значения критерия A приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Средние значения A — критерия типа руслового процесса

Тип руслового процесса	Среднее/стандарт
	критерий A
Свободное меандрирование	36,60/11,50
Незавершенное меандрирование	14,65/4,01
Пойменная многорукавность	7,93/2,43
Ограниченное меандрирование	5,93/1,34
Побочневый тип	2,60/0,59
Русловая многорукавность	1,97/0,63

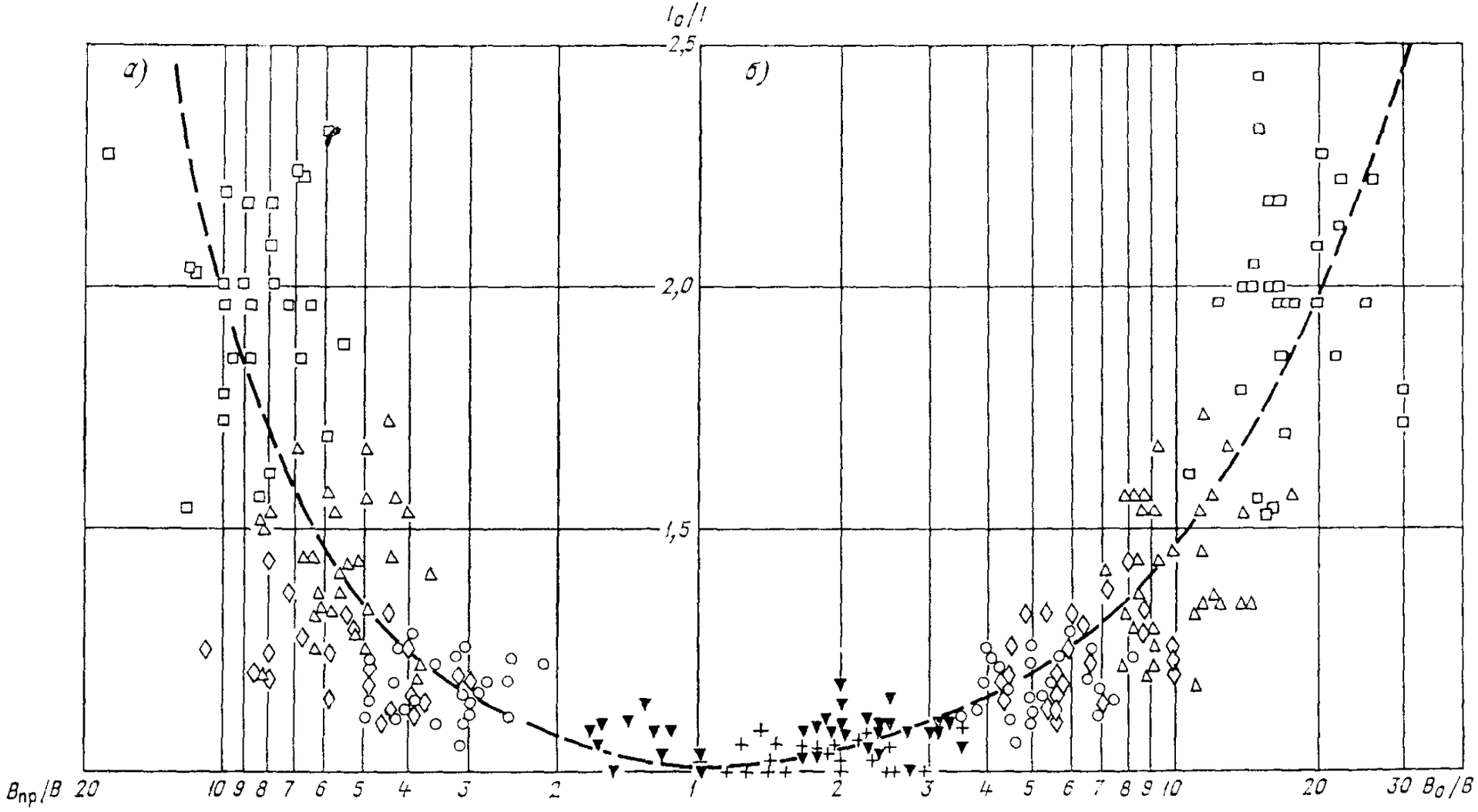


Рис. 3.6. Связь типов руслового процесса. *а* — с относительными уклонами I_0/I и ширинами пояса руслоформирования $B_{п.р}/B$; *б* — с относительными уклонами I_0/I и ширинами дна долины B_0/B.

Усл. обозначения см. на рис. 3.4.

В качестве критериального графика типов руслового процесса используется график $A = f(\bar{Q}_{макс})$ (рис. 3.7), где $\bar{Q}_{макс}$ — значение среднего многолетнего максимального расхода воды, $м^3/с$.

3.20. Для прогноза типа руслового процесса при стеснении поймы дамбами (насыпями для полотна железной дороги) следует в качестве прогностических использовать зависимости (3.2), (3.3), а также зависимости $I_0/I = f(B_0/B)$; $I_0/I = f(B_{п\ р}/B)$; $I_0 = f(I)$; $B_0 = f(B)$; $A = f(\bar{Q}_{макс})$; $B_{п\ р} = f(B)$.

При проектировании могут встречаться два случая: 1) тип руслового процесса в русле, огражденном дамбами, сохраняется; 2) естественный (бытовой) тип руслового процесса заменяется другим вполне определенным типом руслового процесса.

Для выполнения первого условия необходимо, чтобы проектное значение критерия $A_{пр}$ оставалось равным бытовому значению критерия $A_б$, т. е. $A_{пр} = A_б$. Область принадлежности нового значения критерия $A_{пр}$ должна проверяться по графику (см. рис. 3.6).

Во втором случае в соответствии с заданным в проекте типом руслового процесса по табл. 3.3 и графику $A = f(\bar{Q}_{макс})$ (см. рис. 3.7) определяется численное значение критерия $A_{пр}$. Далее подбираются значения параметров I_0/I, B_0/B, $B_{п\ р}/B$, которые составляют расчетное значение критерия $A_{пр}$. При этом величины I_0/I, B_0/B и $B_{п.\ р}/B$ должны отвечать проектному типу руслового процесса в соответствии с графиками (рис. 3.4 и 3.5) и табл. 3.1.

3.21. При стеснении поймы дамбами мостового перехода наряду с количественной оценкой возможности изменения типа руслового процесса следует учитывать характер качественных изменений руслового процесса.

3.22. Степень воздействия дамб мостового перехода на русловые образования определяется главным образом двумя обстоятельствами: типом руслового процесса в месте сужения и величиной стеснения поймы и русла мостовыми сооружениями.

3.23. При ленточногрядовом, осередковом, побочневом руслах воздействие мостового перехода на тип русла не выразится в принципиальном изменении типа. Произойдет лишь перестройка параметров микро- и мезоформ, масштаб которой определит степень сжатия русла мостом.

3.24. Наибольшее воздействие на тип процесса оказывает мостовой переход, расположенный на участке меандрирующих русел. Реки этого типа имеют большое распространение в зоне БАМ. Сущность изменения руслового и гидравлического режима меандрирующей реки может быть рассмотрена применительно к трем характерным зонам влияния перехода: предмостовой (выше моста), подмостовой и замостовой (ниже моста). Длина предмостового и замостового участков соответствует 4—10 излучинам бытового русла.

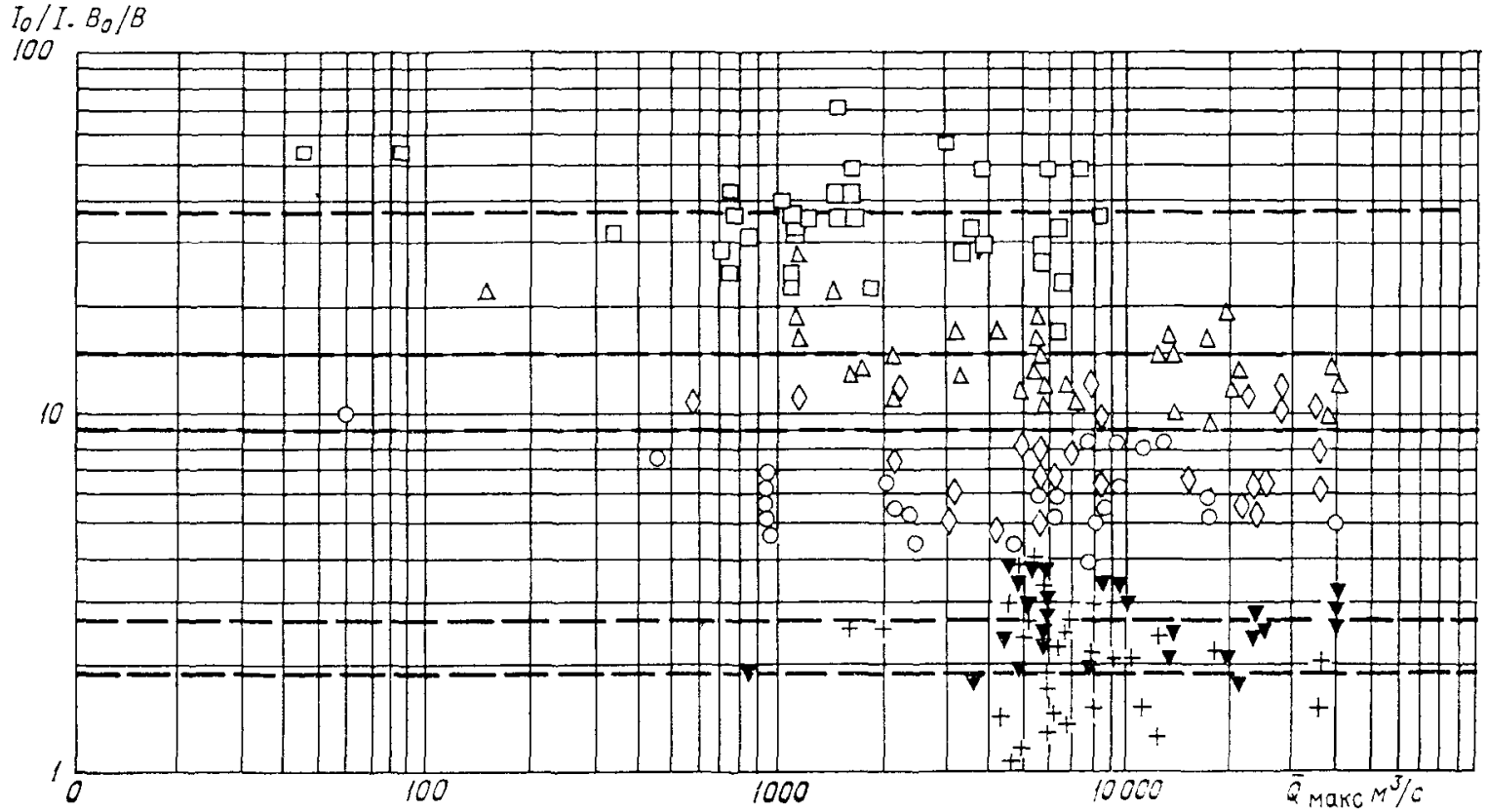


Рис. 3.7. Критериальный график типов руслового процесса.

Усл. обозначения см. на рис. 3.4.

В предмостовой зоне свободное меандрирование, оставаясь неизменным, меняет лишь свои показатели, а в замостовой — этот тип процесса может переходить в осередковый или побочневый типы, или в менее развитые разновидности меандрирования — ограниченное или незавершенное (рис. 3.8). В предмостовой зоне происходит перестройка излучин. В направлении к мосту их размеры и скорости плановых деформаций уменьшаются. По своему очертанию излучины часто принимают асимметричную, сплюснутую форму, их вершины часто направлены в сторону моста. Исключение составляет излучина, *смежная с мостом*. Она развивается регрессивно, навстречу движению потока, разворачиваясь у берегового устоя моста

3.25. Воздействию мостового перехода подвергаются также русловые формы низших порядков. Пляжи излучин, расположенные между ними гребни перекатов и ленточные гряды по мере

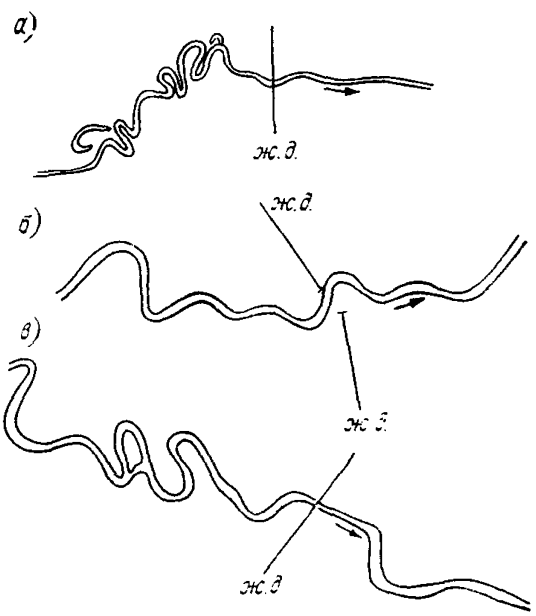


Рис. 3.8. Характер изменения типа руслового процесса на р. Десне (*а*, *в*) и р. Припяти (*б*) в зависимости от степени стеснения меандрирующего русла мостовым переходом.

приближения к мосту уменьшают скорости своих плановых деформаций. Что касается высотных деформаций, то пляж и гребень переката излучины, смежной с мостом, нарастают в высоту интенсивнее, чем на других излучинах.

3.26. В подмостовой зоне перемещение русла в плане ограничено мостовыми опорами. Однако, как известно, поперечный профиль русла при этом не остается неизменным. В этой зоне формируются осередки, побочни, ленточные гряды. Их «направляет» в подмостовой пролет участок русла, сопрягающий первую излучину с подмостовым руслом. Изменяя местоположение и кривизну русла, излучина периодически «направляет» структурные формы наносов в разные участки подмостового русла. В результате этого максимальная глубина в подмостовом сечении русла также периодически перемещается от одного берега к другому. Весьма активны на подмостовом участке и микроформы — их высота и скорость движения возрастают по сравнению с бытовым состоянием.

3.27. Ниже мостового перехода, в замостовой зоне, при сильном стеснении поймы русло реки спрямляется и практически теряет черты свободного меандрирования.

4. ОЦЕНКА ТЕМПОВ ДЕФОРМАЦИЙ РУСЕЛ РЕК ЗОНЫ БАМ

Темпы плановых деформаций

4.1. Закономерное развитие целостных морфологических образований речного русла и поймы при различных типах руслового процесса на реках зоны БАМ приводит к различной схеме и темпам их плановых деформаций (*приложение* 6).

4.2. При побочневом и осередковом типах руслового процесса характер плановых деформаций внешних очертаний русла носит нерегулярный, локальный характер. Плановыми деформациями русла с побочневым и осередковым типами руслового процесса можно пренебречь.

4.3. Наибольшей неопределенностью характера и темпов плановых деформаций русла в зоне БАМ отличаются реки с наледной многорукавностью (рис. 4.1, приложение 6).

4.4. Единая схема, но различные темпы размыва вогнутых берегов русел рек с ограниченным и свободным меандрированием, а также участков русел с незавершенным меандрированием на реках трассы БАМ определяют различные сроки развития полного цикла плановых деформаций русла (рис. 4.2, приложение 6).

4.5. Прогнозирование темпов плановых деформаций русел меандрирующих рек при наличии двух разновременных русловых съемок рассматриваемой излучины, в том числе одной современной съемки, производится на основе экстраполяции величин смещения берегов русла, определяемых совмещением исходных планов русла, выполненных с интервалом не менее 5—7 лет (при наличии трех разновременных съемок достоверность прогноза существенно возрастает).

4.6. Совмещение планов выполняется по координатной сетке или по не изменяющим своего положения деталям местности.

4.7. Контроль выявленных при совмещении съемок зон плановых деформаций может быть осуществлен по следующим признакам, устанавливаемым в ходе морфологического обследования участка русла при низких уровнях воды:

— *зонам размыва соответствует* четко выраженная бровка берега, крутой береговой откос, лишенный растительности, со следами недавних обрушений;

— в пределах зон намыва бровка берега сглажена, береговой откос, поросший кустарником и травой, имеет пологие очертания.

На каждом из совмещенных планов опознают наиболее характерные морфологические элементы, такие, как вершины и точки перегиба линий бровок вогнутого и выпуклого берегов, гребни и подвалья мезоформ и т. п.

Экстраполируя смещение характерных точек русла по направлению и по величине, получают положение русла на про-

гнозируемый срок. При этом необходимо принимать во внимание обстоятельства, способные изменить характер русловых деформаций, в частности, приближение излучины к коренному склону долины или останцу, образование спрямляющих протоков на смежных излучинах.

4.8. Оправдываемость прогноза следует считать тем выше, чем

— надежней исходные планы и их совмещение;

— подробнее освещен русловыми съемками предыдущий ход развития излучины;

— меньше вариация интенсивности планового перемещения излучины за период совмещения съемок и прогнозируемый период;

— продолжительней по сравнению с периодом колебаний водности срок прогноза и промежутки времени между следующими друг за другом исходными русловыми съемками.

4.9. При отсутствии съемок предшествующих положений данной излучины, но наличии подобных материалов по одной или нескольким излучинам рассматриваемого морфологически однородного участка, прогноз плановых деформаций составляется следующим образом.

Границы зон плановых деформаций устанав-

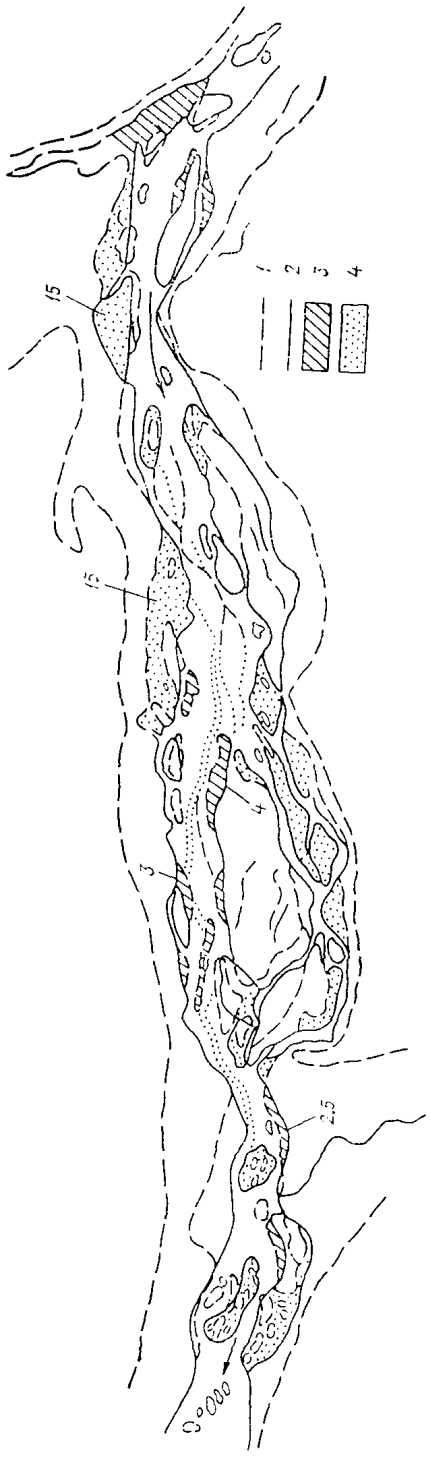


Рис. 4.1. Темпы плановых деформаций на участке русла р. Верхний Сакукан с наледной многорукавностью, м/год.
1 — съемка 1961 г.; *2* — съемка 1975 г.; *3* — размыв; *4* — намыв.

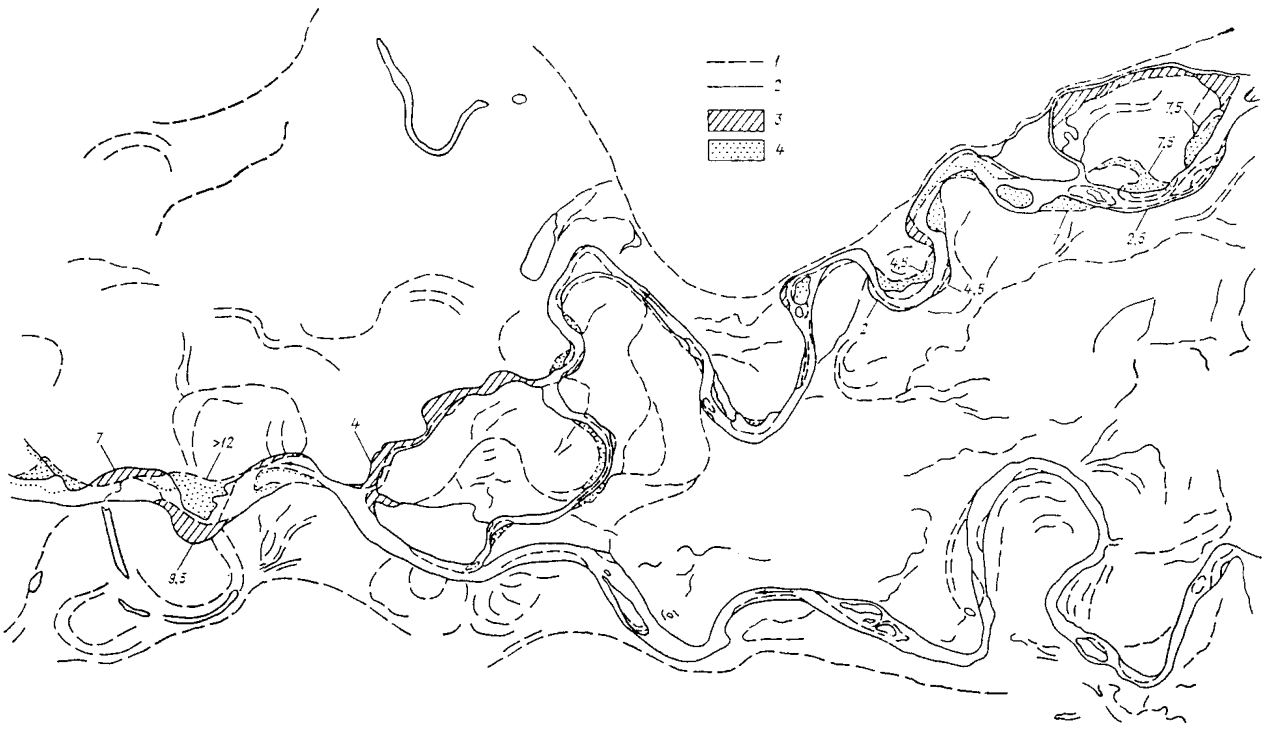


Рис. 4.2. Темпы плановых деформаций на реках Чара (свободное меандрирование) и Ингамакит (незавершенное меандрирование), м/год.

1 — съемка 1964 г.; *2* — съемка 1975 г.; *3* — размыв; *4* — намыв.

ливаются по указанным в п. 4.7 признакам и на основании русловой съемки по величине смещения линии наибольших глубин относительно геометрической средней линии русла (в любом створе, нормальном к осевой линии русла, берега перемещаются от средней линии в сторону линии наибольших глубин).

Смещение $L_б$ береговой линии в произвольном створе данной излучины вычисляется по формуле

$$L_б = kC_{из}T_{пр}(H_{макс} - H)/(H_{пл} - H), \qquad (4.1)$$

где $H_{макс}$ — наибольшая глубина в расчетном поперечнике; $H_{пл}$ — наибольшая глубина в пределах всей излучины; H — средняя глубина двух смежных перекатов; все глубины должны быть приведены к одному уровню; k — коэффициент скорости развития излучины, зависящий от степени ее развитости, выражаемой значением угла разворота α_0, и определяемый по табл. 4.1; $T_{пр}$ — период прогноза или расчетный срок эксплуатации сооружения.

Таблица 4.1

α_0°	10	20	30	40	55	70	85	100	125	170	215	240	260
k	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7

Входящая в формулу (4.1) максимально возможная для рассматриваемого морфологически однородного участка скорость плановых деформаций $C_{из}$ вычисляется по формуле

$$C_{из} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(C_i/k_i)}{n_{из}}, \qquad (4.2)$$

где C_i — наибольшая скорость смещения берегов в пределах каждой излучины, для которой имеются данные совмещения русловых съемок; k_i — табличные значения коэффициента скорости развития соответствующей излучины; $n_{из}$ — число излучин, по которым имеются данные совмещений.

Средняя по периметру вогнутого берега скорость размыва берега каждой излучины составляет 0,66 наибольшей на данной излучине.

4.10. При полном отсутствии данных по смещению берегов в пределах рассматриваемого участка следует использовать материал по другой реке, которую можно рассматривать в качестве аналога. Река-аналог должна относиться к тому же типу руслового процесса, иметь примерно тот же состав аллювия и характер строения берегов, ту же водность и гидрологический режим, что и исследуемая река.

Методы оценки характеристик транспорта наносов, русловых форм и внутрирусловых деформаций

4.11. Для оценки формы транспорта частиц наносов в реках (влечение, сальтация, взвешивание) следует пользоваться формулами характерных значений вертикальной компоненты пульсационных скоростей (по А. Б. Клавену):

— осредненное во времени и по глубине потока значение вертикальной компоненты

$$v_{\text{ср. в}} = 0{,}41 v_*; \tag{4.3}$$

— осредненное по глубине максимальное значение вертикальной компоненты

$$v_{\text{макс. ср. в}} = 1{,}28 v_*; \tag{4.4}$$

— наибольшее возможное при данном гидравлическом режиме значение вертикальной компоненты в зоне (0,15—0,40) H от дна потока

$$v_{\text{макс}} = 1{,}75 v_*. \tag{4.5}$$

Здесь H глубина потока; v_* — динамическая скорость, определяемая по формуле

$$v_* = \sqrt{gHI}, \tag{4.6}$$

где I — уклон поверхности потока.

4.12. Форма движения частиц наносов устанавливается путем сопоставления гидравлической крупности частиц (табл. 4.2) с характерными значениями вертикальной компоненты, определяемыми с помощью зависимостей (4.3)—(4.6).

Если

$$u > v_{\text{макс}},$$

где u — гидравлическая крупность, наносы перемещаются в форме влечения по дну.

Если

$$v_{\text{макс}} \geqslant u \geqslant v_{\text{макс. ср. в}},$$

наносы перемещаются в форме сальтации вблизи дна.

Если

$$\bar{v}_{\text{ср. в}} \leqslant u \leqslant v_{\text{макс. ср. в}},$$

сальтирующие частицы достигают середины глубины потока.

Если

$$u < \bar{v}_{\text{ср. в}},$$

наносы переходят во взвешенное состояние и распространяются на всю глубину потока.

4.13. Для определения знакопеременных деформаций дна и расхода донных наносов необходимо определить геометрические

Таблица 4 2

Гидравлическая крупность частиц $u=f(d, \Theta)$ (по В. В. Романовскому), м/с

d мм	$\Theta=b/a$				
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Турбулентный режим осаждения					
100,0	2,16	1,86	1,55	1,24	0,94
80,0	1,94	1,66	1,39	1,12	0,84
50,0	1,53	1,32	1,10	0,88	0,67
30,0	1,18	1,02	0,85	0,68	0,52
20,0	0,96	0,83	0,69	0,56	0,42
15,0	0,84	0,72	0,60	0,48	0,37
10,0	0,68	0,59	0,49	0,39	0,30
7,00	0,57	0,49	0,41	0,33	0,25
5,00	0,48	0,42	0,35	0,28	0,21
4,00	0,43	0,37	0,31	0,25	0,19
3,00	0,38	0,32	0,27	0,22	
2,50	0,34	0,29	0,25		
2,20	0,32	0,28			
2,00	0,31				
Переходный режим осаждения					
3,00					0,16
2,50				0,20	0,15
2,20			0,23	0,18	0,14
2,00		0,26	0,21	0,17	0,13
1,80	0,27	0,23	0,20	0,16	0,13
1,50	0,24	0,20	0,17	0,14	0,11
1,20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,10
1,00	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09
0,80	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07
0,50	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05
0,30	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
0,20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ламинарный режим осаждения					
0,050			0,00195		
0,040			0,00125		
0,030			0,00070		
0,020			0,00031		
0,010			0,000078		
0,005			0,000020		
0,004			0,000012		
0,002			0,0000031		
0,001			0,00000078		

Примечание. a — длина частицы; b — ширина частицы; d — диаметр частицы, Θ — коэффициент формы частицы.

размеры и динамические показатели русловых микроформ (гряд) и мезоформ (побочней, осередков, пляжей).

4.14. К микроформам речного русла относятся малоинерционные, волнообразные донные структуры массового распространения в русле, соизмеримые с глубиной потока, образующиеся при скоростях потока, превышающих неразмывающие (табл. 4.3 и 4.4).

4.15. Длина гряд $l_г$ в метрах при установившемся режиме движения воды определяется по зависимости Б. Ф. Снищенко

$$l_г = H\sqrt[3]{C^2/g}, \tag{4.7}$$

где C — коэффициент Шези на расчетной вертикали, $м^{0,5}/с$; H — глубина потока на вертикали, м; g — ускорение свободного падения, равное 9,81 $м^2/с$.

4.16. Высоту гряд $h_г$ в метрах определять по формуле В. С. Кнороза

$$h_г = 3{,}5H\left[(1 - v_0/v)^{2/3}\right] \Big/ \left(\lg \frac{H}{d} + 6\right), \tag{4.8}$$

по формуле Б. Ф. Снищенко и З. Д. Копалиани

$$h_г = 2{,}1\,\frac{d}{Fr^{4,1}}\left(\frac{v - v_0}{v_0}\right)^{1,4} \tag{4.9}$$

или по зависимостям Б. Ф. Снищенко:

$$h_г = 0{,}25H \text{ при } H < 1 \text{ м}, \tag{4.10}$$

$$h_г = 0{,}2 + 0{,}1H \text{ при } H > 1 \text{ м}. \tag{4.11}$$

4.17. Скорость смещения микроформ (гряд) определяется по формуле Снищенко и Копалиани

$$C_г = 0{,}019v\ Fr^3 \tag{4.12}$$

или по номограммам (рис. 4.3).

В формулах (4.7)—(4.12) v — средняя скорость потока, м/с; v_0 — неразмывающая скорость потока, м/с, определяемая по табл. 4.3, 4.4; $Fr = v/\sqrt{gH}$ — число Фруда.

1.18. Период движения гряд установившегося профиля в сутках определяется по формуле

$$\tau = l_г/C_г, \tag{4.13}$$

где $l_г$ рассчитывается по зависимости (4.7), а $C_г$ — по номограммам (рис. 4.3).

4.19. Расстояние $L_ч$, пройденное частицей за расчетное время t в секундах при установившемся движении воды и наносов в форме гряд, следует рассчитывать по формуле

$$L_ч = (t/\tau)l_г = 0{,}019v\ Fr^3 t. \tag{4.14}$$

Таблица 4.3

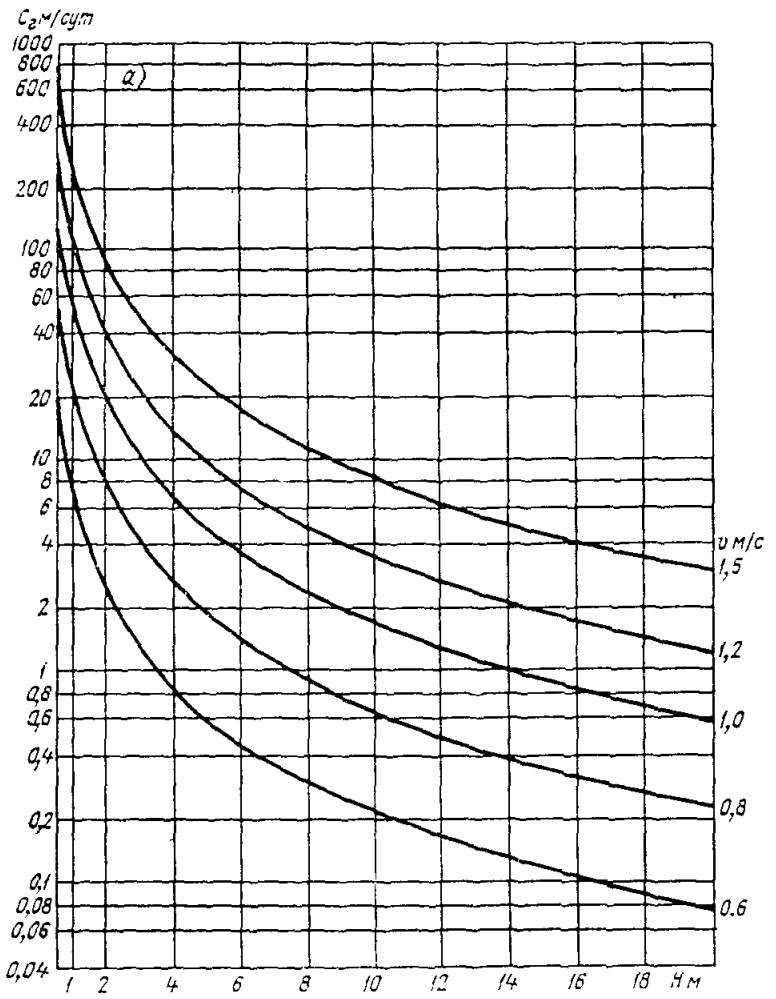
Значения неразмывающей скорости потока для песка (по В. Н. Гончарову, 1938 г.), м/с

H м	Диаметр частицы d мм														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2	4	6	8	10
0,5	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,48	0,54	0,60	0,64	0,68
1,0	0,43	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,49	0,49	0,55	0,63	0,69	0,74	0,78
1,5	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,59	0,68	0,75	0,80	0,85
2,0	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,63	0,72	0,80	0,85	0,90
2,5	0,51	0,52	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,66	0,75	0,83	0,89	0,94
3,0	0,53	0,54	0,56	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,67	0,68	0,78	0,86	0,92	0,98
3,5	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,70	0,80	0,89	0,95	1,01
4,0	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,72	0,82	0,91	0,98	1,04
4,5	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,71	0,84	0,93	1,00	1,06
5,0	0,59	0,60	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,76	0,86	0,96	1,02	1,08
6,0	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,78	0,89	0,99	1,06	1,12
7,0	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,81	0,92	1,02	1,10	1,16
8,0	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,83	0,95	1,05	1,12	1,19
9,0	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,85	0,97	1,08	1,14	1,22
10,0	0,68	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,87	0,99	1,10	1,18	1,25
11,0	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,88	1,02	1,12	1,20	1,27
12,0	0,70	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,90	1,03	1,14	1,22	1,29
13,0	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,91	1,05	1,16	1,24	1,31
14,0	0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84	0,93	1,07	1,18	1,26	1,34
15,0	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,94	1,08	1,19	1,28	1,36
16,0	0,78	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,95	1,10	1,20	1,29	1,37
17,0	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,96	1,11	1,22	1,30	1,38
18,0	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,97	1,12	1,23	1,32	1,40
19,0	0,77	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89	0,98	1,13	1,24	1,34	1,42
20,0	0,78	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	1,00	1,14	1,26	1,35	1,43

Таблица 4.4

Значения неразмывающей скорости потока для крупных наносов (по КиргНИИВХ, 1972 г.), м/с

H м	Диаметр частицы *d* мм													
	15	20	30	40	50	70	100	150	200	250	300	400	500	600
0,5	1,12	1,23	1,41	1,52	1,62	1,75	1,88	1,97	2,0	2,0	—	—	—	—
1,0	1,25	1,40	1,60	1,76	1,88	2,07	2,30	2,50	2,67	2,74	2,78	2,80	2,80	—
1,5	1,34	1,47	1,71	1,88	2,03	2,25	2,52	2,83	3,02	3,14	3,27	3,34	3,43	3,47
2,0	1,38	1,54	1,79	1,98	2,22	2,37	2,66	3,0	3,26	3,42	3,54	3,74	3,90	3,92
2,5	1,42	1,58	1,85	2,10	2,38	2,47	2,80	3,17	3,41	3,63	3,70	4,0	4,21	4,28
3,0	1,46	1,62	1,90	2,12	2,33	2,65	2,87	3,28	3,58	3,80	4,0	4,22	4,45	4,60
4,0	1,51	1,68	1,95	2,19	2,40	2,71	3,22	3,43	3,80	4,06	4,25	4,56	4,86	5,0



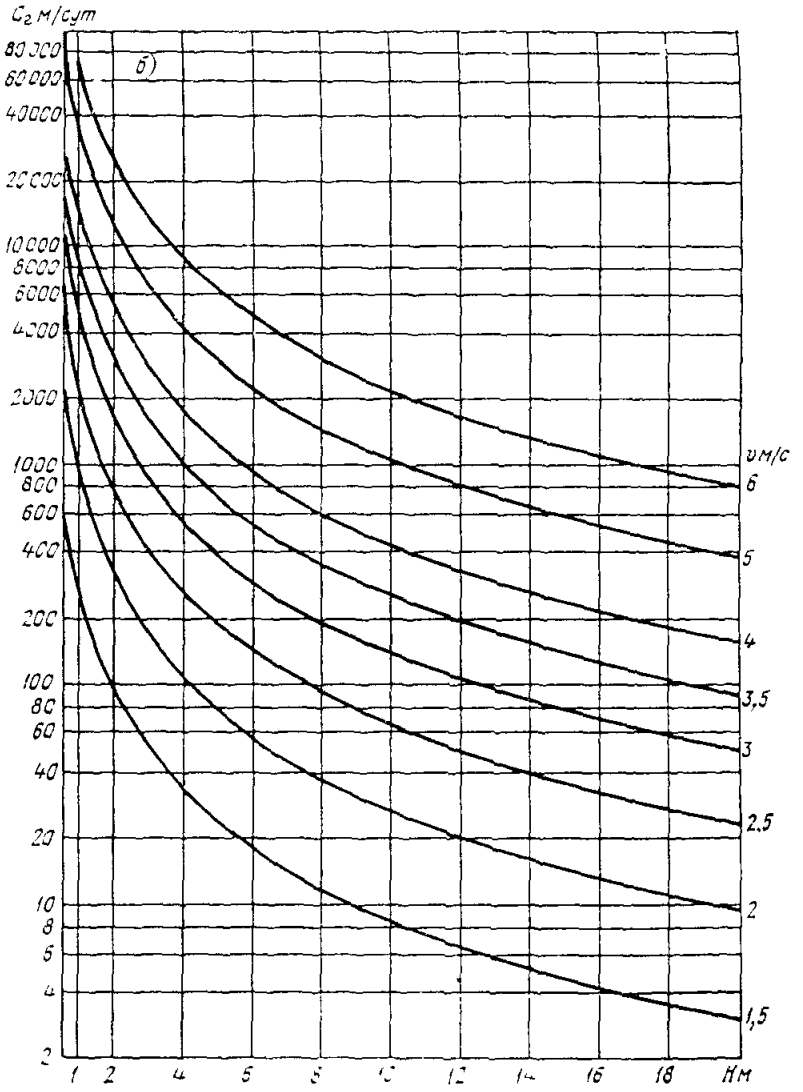


Рис. 4.3. Номограммы для расчета скорости движения микроформ речного русла.

а — скорость 0,6—1,5 м/с; *б* — скорость 1,5—6 м/с.

Удельный объемный расход донных наносов в м³/(с·м), перемещающихся в форме гряд, следует определять по формуле Снищенко и Копалиани

$$q_т = 0{,}011 v h_г \mathrm{Fr}^3, \tag{4.15}$$

где v выражается в м/с, а $h_г$ — в м.

4.20. Удельная объемная концентрация донных наносов, перемещающихся в форме гряд, определяется по зависимости

$$\mu = 0{,}011\,(h_г/H)\,\mathrm{Fr}^3. \tag{4.16}$$

4.21. Удельный объемный расход крупных донных наносов в м³/(сут·м), перемещающихся в форме гряд (при $v > v_0$; $H/d > 15$), определяется по зависимости Копалиани

$$q_г = 5{,}58\,(v^4/H^{1/2}). \tag{4.17}$$

4.22. Удельный весовой расход донных наносов в кг/(с·м) при бесструктурной (безгрядовой) форме перемещения крупных частиц ($H/d < 15$) для уклонов дна $I_д \leqslant 0{,}01$ следует определять по формуле КиргНИИВХ

$$q_т = k\,\frac{\gamma_н v}{\sqrt{g}}\,\sqrt{d}\left(\frac{v}{v_{о.н}}\right)^3 (v - v_{о.н})\left(\frac{d}{H}\right)^{1/m}, \tag{4.18}$$

где $v_{о.н} = 0{,}7\,v_0$ — скорость потока, при которой прекращается движение донных наносов; k — коэффициент, учитывающий форму частиц; для хорошо окатанных наносов округлой формы $k = 0{,}0018$, для пластинчатой — $k = 0{,}0012$; $\gamma_н = 2650$ кг/м³; $m = 1{,}5 + 0{,}314\,C/\sqrt{g}$, где C — коэффициент Шези на расчетной вертикали, м^{0,5}/с.

4.23. При уклонах дна горных рек $I_д > 0{,}01$ и расходах воды редкой повторяемости (менее 10 %-ной обеспеченности максимальных расходов) для определения суммарного расхода наносов следует пользоваться формулой КиргНИИВХ

$$Q_т = 7000 Q\,(H/d)^{0,7}\,I_д^{2,2}, \tag{4.19}$$

где Q — в м³/с; $Q_т$ — в кг/с; $I_д$ — уклон дна потока.

4.24. Мезоформы речного русла представляют собой крупные аллювиальные скопления наносов в виде русловых форм — побочней, осередков, пляжей, соизмеримых с шириной русла, взаимодействующие со всеми речными гидротехническими сооружениями: водозаборами, устоями мостовых опор и фундаментами линий ЛЭП, переходами трубопроводов и линий связи, русловыправительными и руслорегулирующими сооружениями, выемками грунтов из русел рек.

4.25. Скорость перемещения удельного фрагмента затопляемых в паводок мезоформ в прямолинейном русле следует определять по формуле

$$C_\Delta = 950 v_r \frac{h_r}{\Delta} \mathrm{Fr}^3, \qquad (4.20)$$

где C_Δ — скорость перемещения фрагмента мезоформы в м/сут на единицу фронта движения (в общем случае при расчетах может быть принято несколько расчетных вертикалей и соответственно получено неравномерное смещение мезоформы по фронту движения); расчет скорости движения мезоформ в зависимости от величины h_r/Δ можно вести по номограммам (рис. 4.4); v_r — средняя скорость потока над гребнем микроформы, м/с; h_r — высота микроформ, м; Δ — высота мезоформ, определяемая по топографической карте или русловой съемке как разность между отметками гребня и подвалья мезоформы, м.

4.26. Расстояние L_Δ в метрах, пройденное расчетным удельным фрагментом мезоформы за прогнозируемый период времени T, следует вычислять по зависимости

$$L_\Delta = \sum_{i=1}^{n} C_{\Delta i} \delta T_i = \sum_{i=1}^{n} \left[950 v_{ri} \left(\frac{h_r}{\Delta} \right)_i \mathrm{Fr}_i^3 \right] \delta T_i. \qquad (4.21)$$

4.27. Интервалы времени δT_i в сутках, отвечающие различным характерным диапазонам наполнения русла (стадиям затопления мезоформ), целесообразно назначать на основании эмпирической кривой или таблицы обеспеченности суточных уровней воды. Кроме данных о суточных уровнях воды в створе мостового перехода или уровнях, приведенных к этому створу (за все годы наблюдений), для производства расчетов по формуле (4.21) требуются следующие исходные материалы:

— топографическая карта или план русловой съемки участка, охватывающий две-три смежных русловых мезоформы;

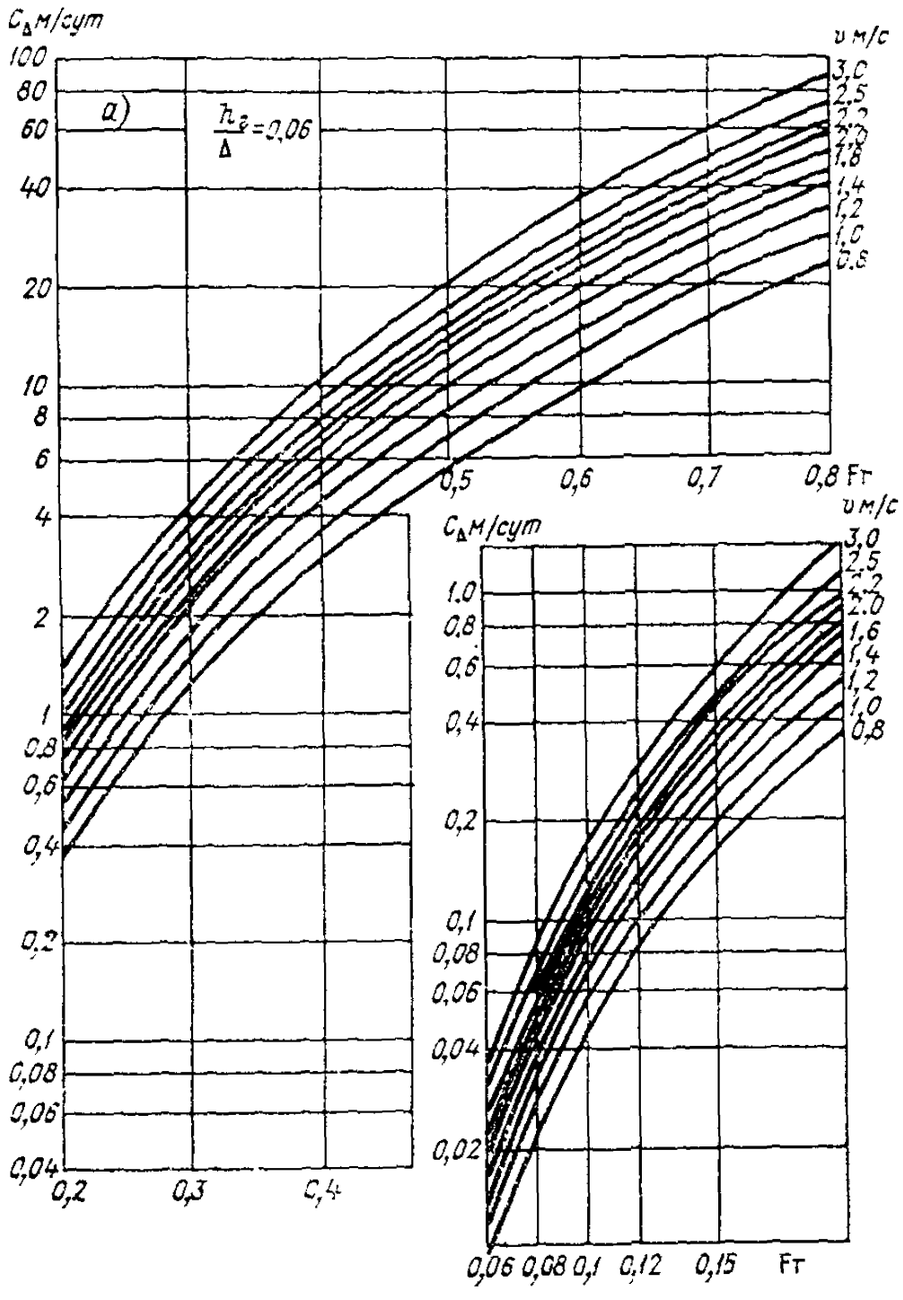
— графики связи средних скоростей и уровней или глубин для расчетных вертикалей над мезоформой, полученные непосредственными измерениями скоростей течения или расчетным путем;

— данные о крупности и составе донных наносов.

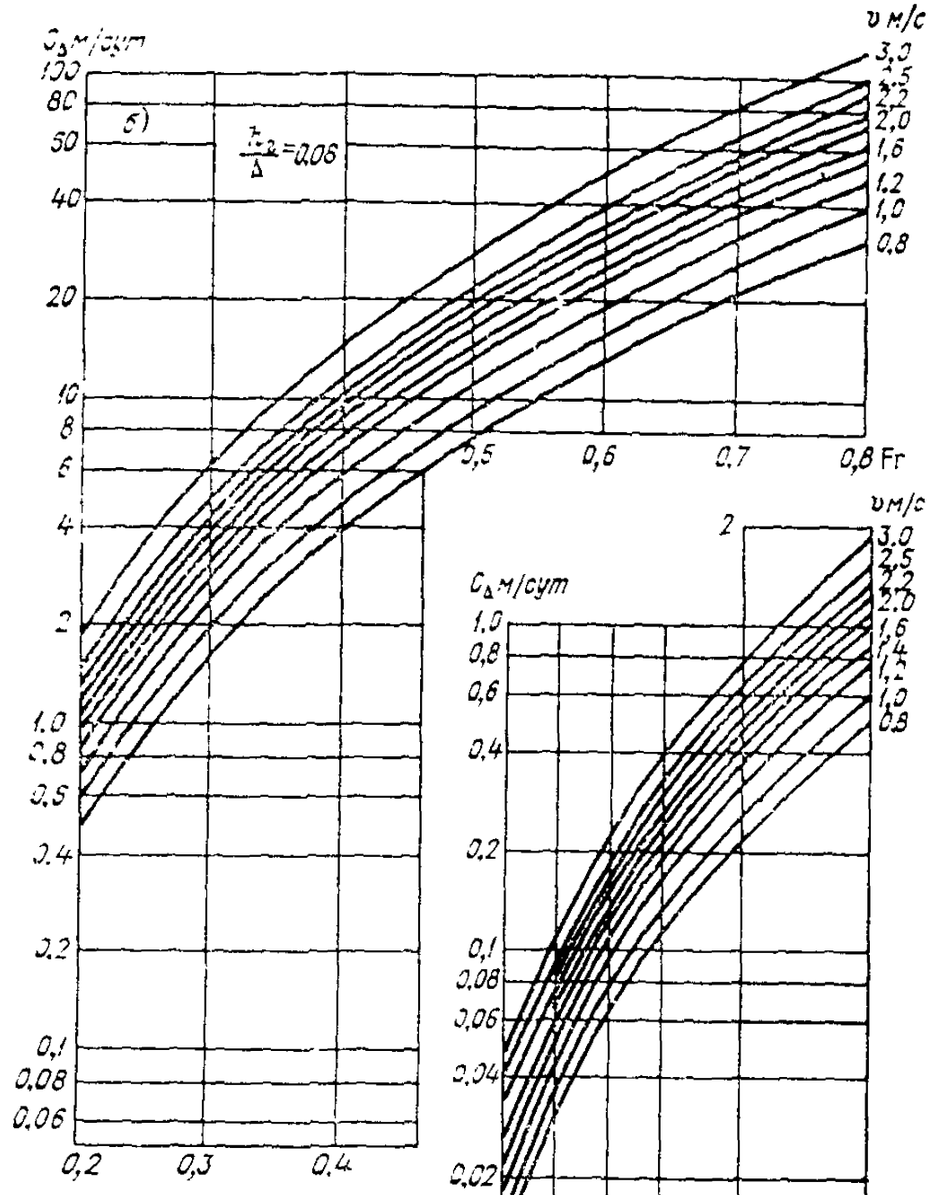
4.28. Расчет суммарного перемещения удельного фрагмента мезоформы производится в следующей последовательности.

Для заданной крупности донных наносов на основании русловой съемки с помощью табл. 4.3 и 4.4 определяется критическая глубина и по графику $v = f(Z)$ соответствующее ей значение уровня $Z_к$, при которых $v > v_0$, т. е. начинается движение основной смеси донных наносов (Z — уровень воды).

На основании данных гидрологических наблюдений за все предыдущие годы составляется таблица либо строится эмпирическая кривая обеспеченности суточных уровней воды для значений $Z \geqslant Z_к$.


а)
$\frac{h_2}{\Delta}$=0,06
C_Δ м/сут
υ м/с
3,0
2,5
2,2
2,0
1,8
1,4
1,2
1,0
0,8
100
80
60
40
20
10
8
6
4
2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0,1
0,08
0,06
0,04
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8 Fr

C_Δ м/сут
υ м/с
3,0
2,5
2,2
2,0
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0,06
0,08
0,1
0,12
0,15
Fr


б)
$\frac{h_2}{\Delta}$=0,06
C_Δ м/сут
υ м/с
3,0
2,5
2,2
2,0
1,6
1,2
1,0
0,8
100
80
50
40
20
10
8
6
4
2
1,0
0,8
0,5
0,4
0,2
0,1
0,08
0,06
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8 Fr

2
C_Δ м/сут
υ м/с
3,0
2,5
2,2
2,0
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0,06
0,08
0,1
0,12
0,15
Fr

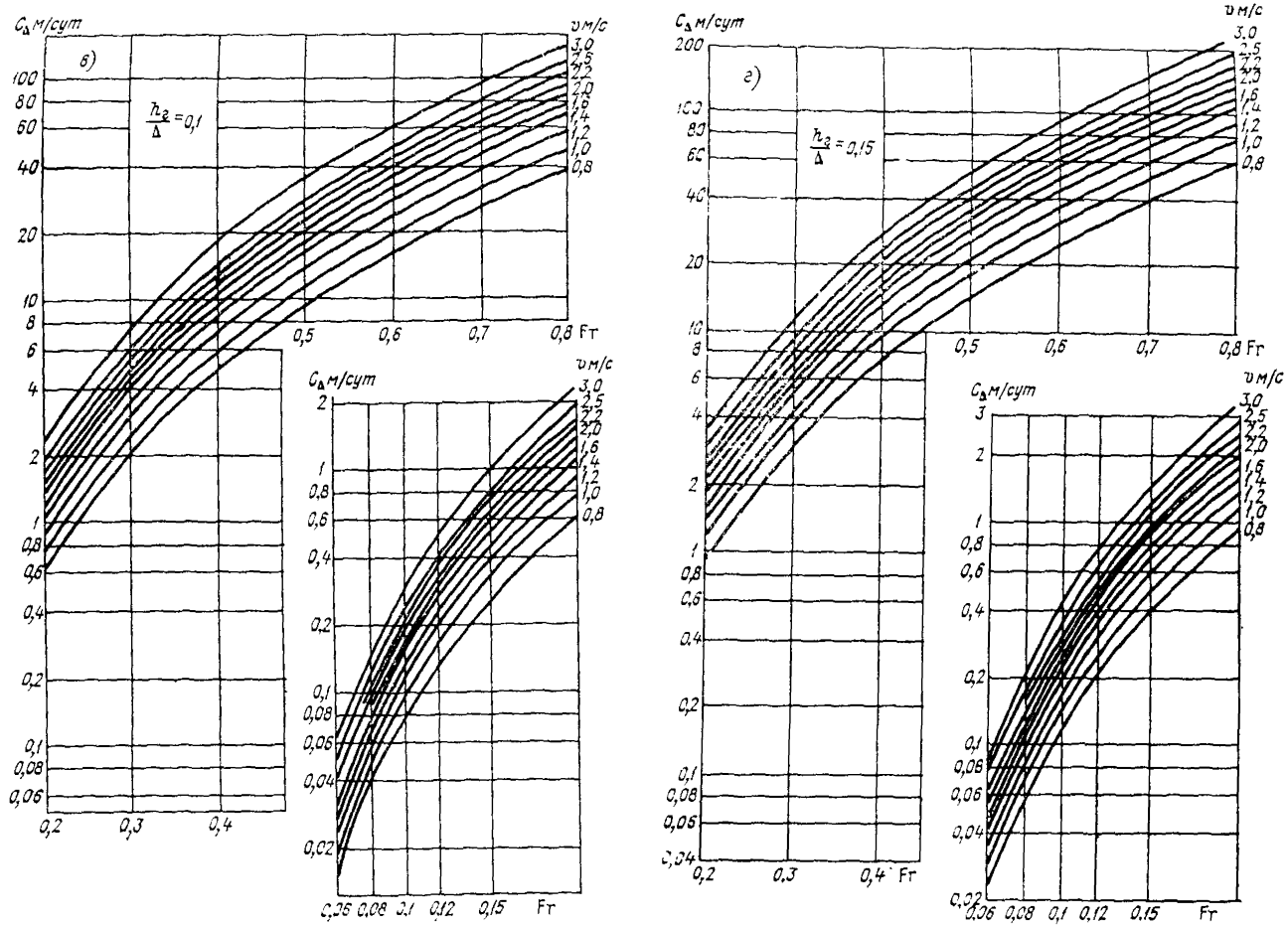


Рис. 4.4. Номограммы для расчета скорости движения мезоформ речного русла в зависимости от значения h_r/Δ.

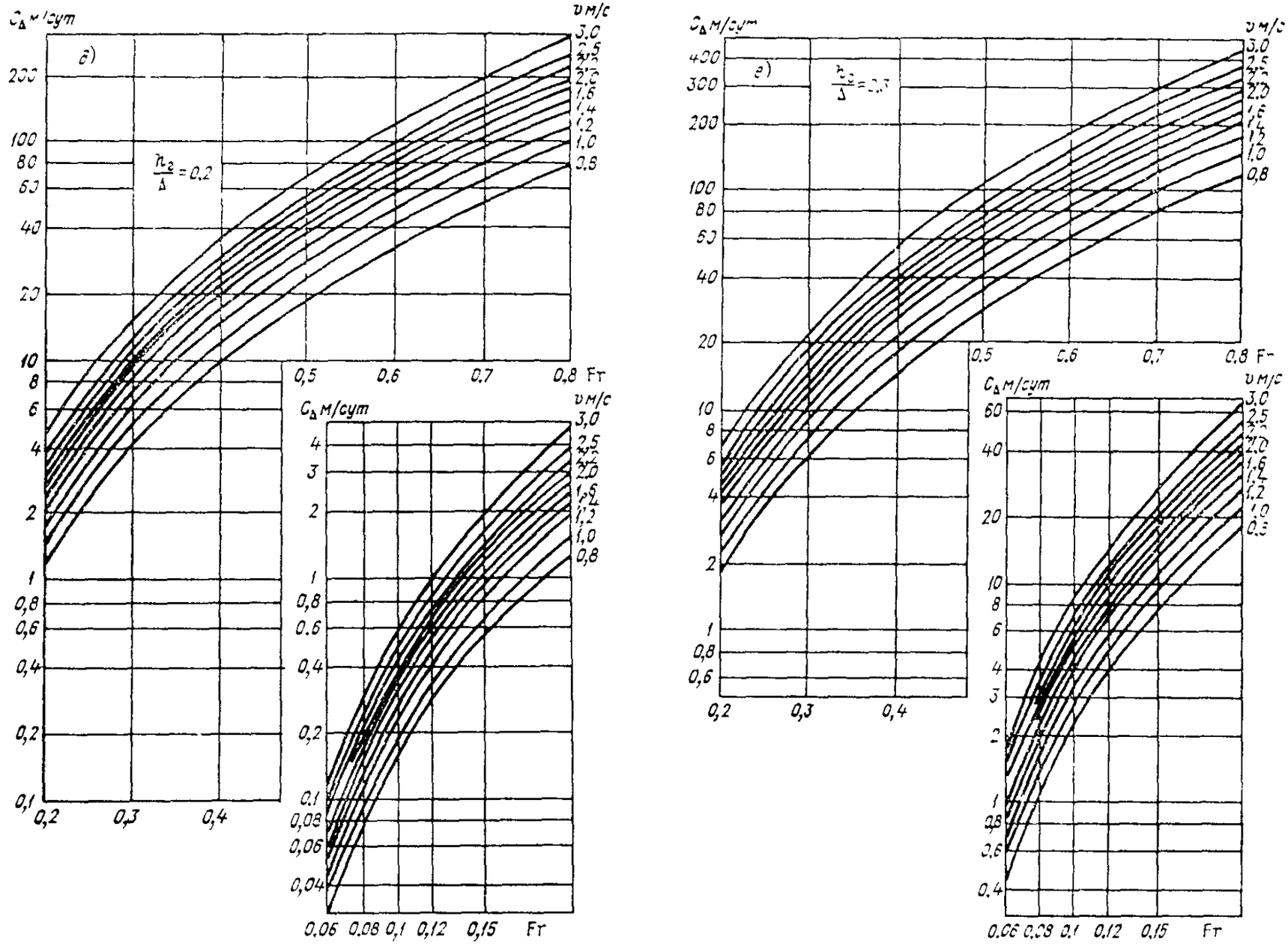


Рис 4.4. Номограммы для расчета скорости движения мезоформ речного русла в зависимости от значения $h_г/\Delta$.

Эти данные группируются в частные интервалы с равными или неравными градациями исходя из характера распределения данных. Определяется частота повторяемости уровня воды в каждом интервале за период наблюдений

$$p_i^* = m_i/N,$$

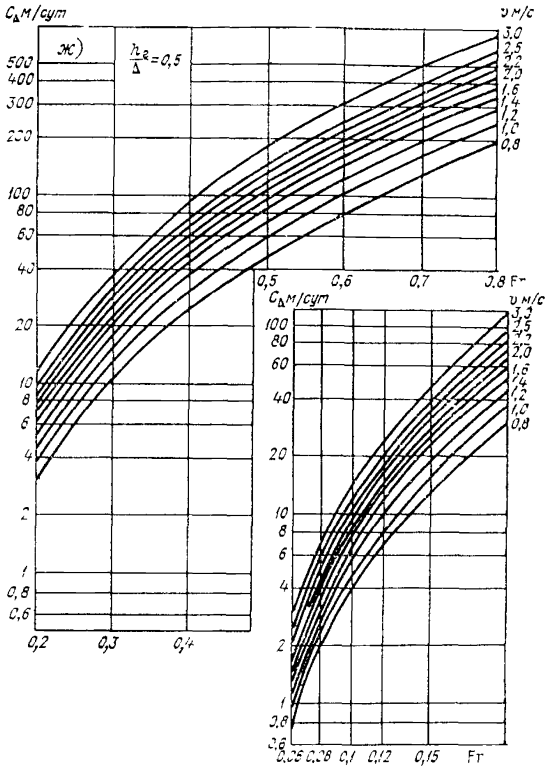


Рис. 4.4. Номограммы для расчета скорости движения мезоформ речного русла в зависимости от значения h_r/Δ.

где m_i — количество суток повторяемости уровня в данном интервале; $N = 365\,n$ — общее количество суток за период наблюдений; n — число лет наблюдений.

Частные интервалы времени δT_i, отвечающие тем же стадиям наполнения русла за прогнозируемый период, определяются по зависимости

$$\delta T_i = M p_i^*,$$

где M — общее количество суток прогнозируемого периода.

Для каждого выделенного интервала наполнения русла (затопления мезоформы) по имеющимся материалам (уровням, топографической съемке и кривой $v=f(Z)$ определяются средние для интервала значения глубин и средней на расчетной вертикали скорости потока.

Для определения высоты гряды используются зависимости (4.8)—(4.11), а для скорости мезоформ — номограммы (см. рис. 4.4).

4.29. Примеры расчета величины смещения побочней в связи с практическими задачами.

Пример 1. Определить смещение побочня за 30 лет и схему проектирования перехода трубопровода в поперечном сечении 15 (рис. 4.5).

Исходные данные для расчетной вертикали: кривая $v=f(Z)$; средняя крупность донных наносов $d=7{,}0$ мм; ширина реки

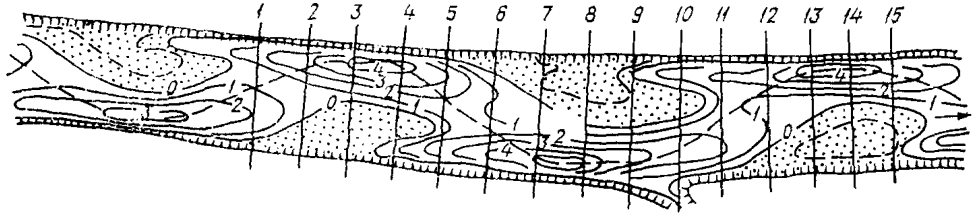


Рис. 4.5. К примеру расчета смещения побочня. Створ перехода трубопровода совпадает с поперечником *15*.

400 м; ширина побочня 180 м; длина побочня 1400 м; высота побочня 2,5 м. Период наблюдений за уровнем воды составляет 50 лет (18 262 сут).

На основании русловой съемки (см. табл. 4.3—4.4), данных об уровнях воды и кривой $v=f(Z)$, находим критическое значение уровня воды 600 м, выше которого частицы донных наносов крупностью 7,0 мм находятся в состоянии движения.

Единый ряд данных суточных уровней воды выше значения $Z=600$ м за все годы наблюдений делим на 4 интервала (табл. 4.5). Подсчитываем число случаев (суток со значением уровней в каждом интервале за период наблюдений). Определяем частоту повторяемости уровня воды в каждом интервале за период наблюдений и прогнозируемые интервалы времени в сутках с этими же интервалами уровней за прогнозируемый период 30 лет (10 957 сут).

По топографической карте с помощью кривой $v=f(Z)$ определяем глубину и среднюю скорость потока на расчетной вертикали для всех частных интервалов уровней воды.

Вычисляем число Фруда. По формулам (4.8)—(4.11) определяем высоту гряд для каждого интервала уровней воды и относительную высоту гряд при высоте мезоформы $\Delta=2{,}5$ м.

Таблица 4.5

Интервал уровней воды, м	Число случаев за период наблюдений, сут.	Частота $p_i^* = m_i/N$	Число случаев за расчетный (прогнозируемый) период δT_i сут	Глубина потока H м	Средняя скорость на вертикали v м/с	$Fr = v/\sqrt{gH}$	Высота гряд $h_г$ м	$h_г/\Delta$	$C_{\Delta i}$ м/сут	$C_{\Delta i}\,\delta T_i$
				Пример 1						
600—600,6	4000	0,219	2399	0,6	0,9	0,37	0,15	0,06	2,37	5686
600,6—601,4	1800	0,098	1074	1,4	1,1	0,30	0,34	0,14	3,80	4081
601,4—602,3	300	0,016	175	2,3	1,3	0,27	0,43	0,17	4,75	631
602,3—603,5	20	0,001	11	3,5	1,3	0,22	0,55	0,22	2,66	29
									$\sum = 10\,427$ м	
				Пример 2						
151,6—152,0	2200	0,100	1096	2,0	0,70	0,15	0,40	0,08	0,16	175
152,0—152,8	1400	0,065	712	2,8	0,85	0,16	0,48	0,10	0,32	228
152,8—153,8	480	0,022	229	3,8	0,85	0,14	0,58	0,11	0,22	50
153,8—154,5	160	0,007	77	4,5	0,90	0,14	0,65	0,13	0,28	21
154,5—155,8	50	0,002	22	5,8	1,10	0,15	0,78	0,15	0,47	10
155,8—156,7	20	0,001	11	6,7	1,10	0,14	0,87	0,17	0,47	5
									$\sum = 489$ м	

По зависимости (4.20) или номограммы (рис. 4.4) определяем скорость смещения мезоформы для частных интервалов уровней воды $C_{\Delta i}$, а с учетом δT_i определяем смещение побочня за прогнозируемые интервалы времени с соответствующими значениями уровней воды.

Суммарное смещение побочня за прогнозируемый период в 30 лет получается суммированием всех строк последнего столбца и в данном примере $L_\Delta = 10\,427$ м.

Отношение суммарного смещения побочня к длине побочня $L_\Delta / L_{пп} = 7{,}4$. В этом случае переход трубопровода следует проектировать по схеме $aa_1a_2a_3b_1b_2b_3b_4a_6$ (рис. 4.6).

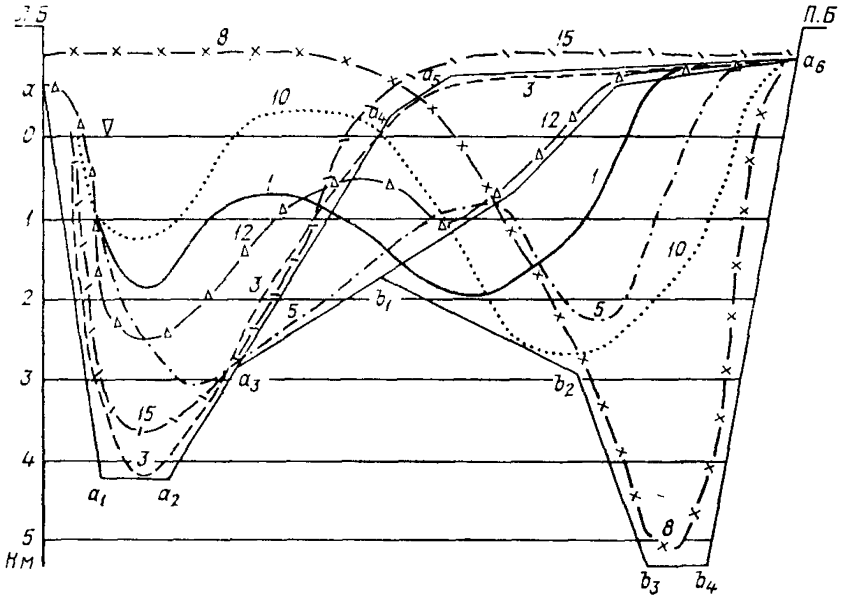


Рис. 4.6. К примеру расчета деформаций русла на участке с побочневым типом.

1—15 — поперечные профили русла, местоположение которых указано на рис. 4.12; $aa_1a_2a_3b_1b_2b_3b_4a_6$ и $aa_1a_2a_3a_4a_5a_6$ — рассчитанные очертания поперечных профилей.

Пример 2. Определить смещение побочня за 30 лет и схему проектирования перехода трубопровода в поперечном сечении *15* (см. рис. 4.5).

Исходные данные для расчетной вертикали: кривая $v = f(Z)$, средняя крупность донных наносов $d = 0{,}3$ мм; ширина реки 1200 м; длина побочня 5000 м; высота побочня 5,0 м. Период наблюдений за уровнем воды составляет 60 лет (21 915 сут).

На основании русловой съемки (табл. 4.3—4,4) данные об уровнях воды и кривой $v = f(Z)$ находим критическое значение уровня воды 151,5 м, выше которого частицы донных наносов крупностью 0,3 мм находятся в состоянии движения.

Единый ряд данных суточных уровней воды за все годы наблюдений выше значения 151,5 м делим на шесть интервалов.

Дальнейшая процедура аналогична примеру 1. Результаты расчета сведены в табл. 4.5.

Суммарное смещение побочня за прогнозируемый период составляет 489 м.

Отношение $L_{\Delta}/L_{\text{пб}} = 0{,}1$.

Трубопровод следует проектировать по схеме $aa_1a_2a_3a_4a_5a_6$ (см. рис. 4.6).

4.30. Суммарное время заносимости поперечной траншеи в русле с донными наносами в сутках для случая, когда известны значения высот гряд $h_{\text{г}}$ в метрах, следует определять по формуле

$$T_{\text{т}} = \sum_{i=1}^{n} t_i = 0{,}001 h_{\text{т}} b_{\text{т}} \sum_{i=1}^{n} \left(1/h_{\text{г}i} v_{\text{г}i} \text{Fr}_i^3\right); \qquad (4.22)$$

для случая, когда значения $h_{\text{г}i}$ неизвестны,

$$T_{\text{т}} = \sum_{i=1}^{n} t_i = 0{,}005 \frac{h_i b_{\text{т}}}{d\sqrt{g}} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{H_i} \left(\frac{v_0}{v - v_0}\right)^{1{,}4}, \qquad (4.23)$$

где t_i — интервал времени частной ступеньки гидрографа стока; $h_{\text{т}}$ и $b_{\text{т}}$ — соответственно средняя глубина и ширина траншеи на расчетной вертикали; $h_{\text{г}i}$, $v_{\text{г}i}$, Fr_i — соответственно высота гряды, скорость потока и число Фруда за интервал времени t_i; H_i — глубина потока на вертикали в интервале времени t_i.

5. ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНЫХ РУСЕЛ В БЫТОВЫХ И ПРОЕКТНЫХ УСЛОВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

5.1. Для рационального размещения в зоне БАМа сооружений, взаимодействующих с руслами рек, выбора их конструкции, наиболее приспособленной для работы в данных местных условиях и эффективных защитных мероприятий наряду с оценкой типа и темпов плановых деформаций русла в ряде ответственных случаев следует прибегать к гидравлическому моделированию.

5.2. Моделирование кинетической структуры потока, транспорта наносов, деформаций русла и характера взаимодействия сооружения и русла следует проводить на жестких и размываемых гидравлических моделях, выполненных с соблюдением критерия динамического подобия — числа Фруда и без искажения линейных масштабов или с минимальным их искажением, не превышающим значения 2—3.

5.3. На размываемых моделях с жесткими берегами, выполненных без искажения геометрических масштабов и с соблюдением равенства числа Фруда, следует подбирать в линейном масштабе модели не только среднюю крупность донных наносов, но и их фракционный состав.

5.4. Основные правила моделирования на неискаженной размываемой модели с жесткими берегами выражаются следующими соотношениями:

линейные масштабы модели: $\alpha_L = \alpha_B = \alpha_H$;
масштаб числа Фруда $\alpha_{Fr} = 1$;
масштаб числа Рейнольдса $Re_м > Re_к$;
масштаб уклонов $\alpha_I = 1$;
масштаб зернистой шероховатости $\alpha_{d/H} = 1$;
масштаб гидравлических сопротивлений $\alpha_\lambda = \lambda_C = 1$;
масштаб расхода воды $\alpha_Q = \alpha_L^{2,5}$;
масштаб скорости потока $\alpha_v = \alpha_L^{1/2}$.

5.5. Дополнительные условия, связанные с обеспечением подобия транспорта наносов на динамически и геометрически неискаженных размываемых моделях с жесткими берегами, выражаются соотношениями:

масштаб крупности донных наносов $\alpha_d = \alpha_L$;
критерий подвижности наносов по неразмывающей скорости $\alpha_{v/v_0} = 1$;
критерий подвижности наносов по гидравлической крупности $\alpha_{v/w} = 1$;
условия существования гряд на модели и в натуре $H/d > 15$; $v > v_0$;
линейные масштабы гряд $\alpha_{hг} = 1$; $\alpha_{lг} = 1$;
масштаб скорости перемещения гряд $\alpha_{C_г} = \alpha_v \alpha_{Fr}^3 = \alpha_v = \alpha_H^{1/2}$;
масштаб удельного расхода наносов, перемещающихся в форме гряд, $\alpha_{q_т} = \alpha_{h_г} \alpha_{C_г} = \alpha_H^{1/2}$;
масштабы времени гидравлических процессов и русловых деформаций $\alpha_t = \alpha_\tau = \alpha_H^{1/2}$.

5.6. При гидравлическом моделировании на размываемых моделях с жесткими берегами с искажением критериев динамического и геометрического подобия необходимо соблюдение следующих условий:

линейные масштабы модели: $\alpha_L = \alpha_B \neq \alpha_H$;
масштаб числа Фруда $\alpha_{Fr} \leqslant 3$;
масштаб критерия подвижности наносов $\alpha_{v/v_0} = 1$;
масштаб расхода воды $\alpha_Q = \alpha_{Fr} \alpha_L \alpha_H^{3/2}$;

масштаб скорости потока $\alpha_v = \alpha_{Fr}\alpha_H^{1/2}$;

масштаб скорости перемещения гряд $\alpha_{c_r} = \alpha_H^{1/2}$;

масштаб времени гидравлических процессов $\alpha_t = \alpha_L/(\alpha_{Fr}\alpha_H^{1/2})$;

соотношение масштабов времени гидравлических процессов и русловых деформаций $\alpha_\tau/\alpha_t = \alpha_{H/h_r}/\alpha_{Fr}^3$;

масштаб времени русловых деформаций $\alpha_\tau = (\alpha_L/\alpha_H^{1/2}) \times \times (\alpha_{H/h_r}/\alpha_{Fr}^4)$.

Характеристики проб донных наносов рек зоны БАМ

Место взятия проб	Расстояние по трассе, км	d_5 мм	d_{50} мм	d_{95} мм	d мм	$d_{св}$ мм	d_{cu}/d_{50}	d_{95}/d_5	$\sqrt{d_{75}/d_{25}}$	I	H м	v м/с	v_0 м/с	v/v_0
р. Хани, приверх острова	1270	21	143	372	181,7	176,1	1,23	17,71	1.60	0,0032	5,5	4,40	3,17	1,27
Там же	1270	21	112	315	155,9	146,5	1,31	15,00	1,77	0,0032	5,5	4,40	3,31	1,33
Там же	1270	25	190	352	180,4	205,0	1,08	14,08	2,12	0,0032	5,5	4,40	3,46	1,27
Там же	1270	18	75	193	110,0	96,9	1,29	10,72	1,75	0,0032	5,5	4,40	2,95	1,49
р. Хани, конус выноса руч. Керсюсэ	1275	142	297	510	268,2	348,0	1,17	3,59	1,41	0,0048	5,5	—	—	—
р. Хани, правый берег	1280	56	150	322	175,0	209,2	1,39	5,75	1,44	0,0047	6,5	5,36	3,43	1,56
Там же	1280	43	130	288	151,7	167,4	1,29	6,70	1,52	0,0047	6,5	5,36	3,29	1,63
Там же	1280	38	139	350	179,3	176,6	1,27	9,21	1,56	0,0047	6,5	5,36	3,46	1,55
Там же	1280	32	255	400	182,1	237,7	0,93	12,50	1,82	0,0047	6,5	5,36	3,47	1,54
р. Эвонокит, устье, побочень, левый рукав	1281	45	179	292	138,1	185,7	1,04	6,49	1,61	0,0050	6,4	—	—	—
Там же	1281	45	167	254	132,8	172,1	1,03	5,64	1,36	0,0050	6,4	—	—	—
Там же	1281	36	143	322	158,8	176,4	1,23	8,94	1,59	0,0050	6,4	—	—	—
Там же	1281	—	135	272	170,0	164,4	1,22	—	1,78	0,0050	6,4	—	—	—
р. Хани, приверх побочня	1287	—	76	167	114,4	96,5	1,27	—	1,53	0,0040	5,3	—	—	—
р. Хани, середина побочня	1287	74	141	240	122,3	159,7	1,13	3,24	1,39	0,0040	5,3	—	—	—
р. Хани, ухвостье побочня	1287	33	82	143	99,7	95,6	1,16	4,33	1,45	0,0040	5,3	—	—	—
р. Хани, остров	1289	45	187	384	177,5	208.8	1,12	8,53	1,45	0,0049	6,0	—	—	—
р. Хани, устье пляжа	1292	43	150	313	155,0	176,2	1,17	7,28	1,47	0,0030	6,8	4,72	3,31	1,43
р. Хангули, правобережный побочень	1292	—	54	163	123,8	84,9	1,57	—	1,32	0,0030	6,8	—	—	—
р. Хани, правая протока	1296	18	101	265	131,4	136,5	1,35	14,72	1,88	0,0051	5,5	4,80	3,13	1,53
Там же	1296	23	203	433	205,0	238,8	1,18	18,83	1,53	0,0051	5,5	4,80	3,60	1,33

Там же	1296	23	130	287	155,6	162,3	1,25	12,48	1,86	0,0051	5,5	4,80	3,31	1,45
р. Хани, приверх острова	1296	—	216	585	207,1	273,5	1,27	—	2,07	0,0049	5,5	4,80	3,61	1,33
Там же	1296	—	57	155	99,4	91,2	1,60	19,40	1,49	0,0051	5,5	4,80	2,87	1,67
Там же	1296	16	135	261	131,8	153,6	1,14	16,50	2,00	0,0051	5,5	4,80	3,13	1,53
р. Хани, конус выноса руч. Ат-Бастах	1297	—	427	631	330,0	443,9	1,04	—	1,38	—	—	—	—	—
Там же	1297	—	—	—	980	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Там же	1297	—	—	—	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
р. Хани, приверх острова	1298	—	70	195	104,5	99,6	1,42	—	1,80	0,0030	6,6	4,15	2,91	1,43
Там же	1298	—	103	300	177,4	160,8	1,56	—	1,99	0,0030	6,5	4,15	3,44	1,21
р. Хани, пляж, правый берег	1305	17	197	303	180,0	207,0	1,05	21,35	2,01	0,0045	6,3	—	—	—
р. Хани, осередок выше мостового перехода, левый берег	1311	15	103	282	156,6	149,4	1,45	18,80	1,87	0,0025	5,0	4,05	3,32	1,22
Там же, правый берег	1311	30	107	213	107,5	136,9	1,28	7,10	1,49	0,0025	5,0	4,05	2,95	1,38
Там же, левый берег	1311	18	89	275	155,6	148,9	1,67	15,28	1,99	0,0025	5,0	4,05	2,89	1,40
Там же, на максимальной отметке осередка	1311	—	56	130	102,5	84,8	1,51	—	1,48	0,0025	5,0	4,05	2,89	1,40
р. Хани, створ мостового перехода, левый берег	1312	—	135	390	189,3	230,9	1,71	—	2,04	0,0040	6,5	5,6	3,51	1,59
р. Хани, устье, левый берег	1327	80	245	490	178,9	298,6	1,22	6,12	1,65	0,0030	14,0	—	—	—
Там же	1327	—	131	272	106,7	163,7	1,25	—	1,81	0,0030	14,0	—	—	—
Там же	1327	—	183	525	151,5	279,4	1,53	—	1,91	0,0030	14,0	—	—	—
Там же	1327	—	166	323	107,1	196,8	1,18	—	1,49	0,0030	14,0	—	—	—
р. Олекма, левый берег, гребень гряды	1328	—	33	75	47,2	45,7	1,38	—	—	0,0020	17,8	—	—	—
Там же	1328	24	68	162	54,6	98,8	1,45	6,75	1,51	0,0020	17,8	—	—	—
Там же	1328	—	23	67	56,2	39,3	1,71	—	—	0,0020	17,8	—	—	—
р. Олекма, правый берег, пляж	1355	—	—	45	38,5	21,1	—	—	—	0,0004	12,8	—	—	—
Там же	1355	—	17	57	49,4	50,0	2,94	—	—	0,0004	12,8	—	—	—
Там же, на гребне гряды	1355	—	41	75	51,2	57,3	1,25	—	—	0,0004	12,8	—	—	—

Место взятия проб	Расстояние по трассе, км	d_5 мм	d_{50} мм	d_{95} мм	$\bar{d}$ мм	$d_{ср}$ мм	$d_{ср}/d_{50}$	d_{95}/d_5	$\sqrt{d_{25}/d_{75}}$	I	H м	v м/с	v_0 м/с	v/v_0
р. Олекма на 500 м выше р. Имангры	1364	12	55	132	84,0	80,2	1,46	11,00	1,51	0,0004	14,0	—	—	—
р. Олекма, конус выноса р. Имангры	1365	—	46	110	62,2	62,6	1,04	—	—	0,0004	14,0	—	—	—
Там же	1365	—	42	155	84,0	69,2	1,65	—	1,92	0,0004	14,0	—	—	—
р. Олекма, конус выноса р. Таас-Юрех	1380	10	73	163	85,7	101,1	1,38	16,30	1,45	0,0005	16,5	—	—	—
Там же	1380	—	78	175	85,4	103,5	1,33	—	1,50	0,0005	16,5	—	—	—
р. Олекма, приверх острова	1400	33	96	124	80,3	109,1	1,14	3,76	1,31	0,0003	15,0	—	—	—
р. Нюкжа, приверх острова	1407		13	52	40,0	30,0	2,31	—	—	0,0004	12,0	—	—	—
р. Намарак, устье	1415	20	49	120	–	58,0	2,24	6,00	1,54	—	—	—	—	—
р. Нюкжа, правый берег	1416	20	74	182	—	115,0	1,56	9,10	1,69	0,0005	11,0	—	—	—
р. Нюкжа, левый берег	1416	21	95	146	—	99,0	1,04	6,90	1,53	0,0005	11,0	—	—	—
р. Нюкжа, приверх острова	1416	—	18	53	40,0	33,8	1,88	—	—	0,0005	11,0	—	—	—
р. Нюкжа, откос левого берега, ниже выхода из протоки	1416	20	53	100	61,0	74,1	1,40	5,00	1,27	0,0006	11,0	3,65	2,57	1,42
Там же	1416	—	25	70	51,2	42,0	1,68	—	1,67	0,0006	11,0	3,65	2,42	1,51
р. Нюкжа, русловая форма у правого берега	1417	34	90	145	—	88,0	0,98	4,30	1,55	0,0006	10,7	—	—	—
р. Нюкжа, центральная часть формы против протоки	1417	38	67	130	77,7	92,9	1,39	3,42	1,36	0,0006	10,7	—	—	—
р. Нюкжа, ухвостье острова	1417	37	78	187	86,7	113,1	1,45	5,05	1,55	0,0006	10,7	—	—	—
р. Нюкжа, приверх острова	1417	—	65	184	97,8	123,1	1,89	—	1,71	0,0005	11,0	3,65	3,18	1,15

р. Нюкжа, центральная часть острова	1417	27	69	133	82,3	92,7	1,34	4,93	1,30	0,0005	11,0	3,65	2,92	1,25
р. Нюкжа, вход в протоку	1417	25	75	187	83,3	118,2	1,58	7,48	1,57	0,0006	10,7	—	—	—
р. Нюкжа, в протоке	1417	—	—	64	58,5	31,4	—	—	—	0,0006	—	—	—	—
р. Нюкжа, ниже протоки	1417	23	65	121	61,5	21,1	0,32	5,26	1,32	0,0005	11,0	3,65	2,58	1,42
Там же	1417	50	123	218	118,2	139,6	1,13	4,36	1,24	0,0005	11,0	3,65	3,30	1,11
р. Нюкжа, правый берег	1422	—	47	200	107,5	77,6	1,65	—	1,80	0,0005	11,9	4,07	3,25	1,25
Там же	1422	—	40	123	84,0	65,0	1,62	—	1,88	0,0005	11,9	4,07	2,95	1,38
Там же	1422	—	41	127	84,0	68,1	1,66	—	1,83	0,0005	11,9	4,07	2,95	1,38
р. Нюкжа, побочень	1422	—	56	190	107,5	83,2	1,49	—	1,70	0,0005	11,9	4,07	3,25	1,25
Там же	1422	—	54	145	84,0	77,6	1,44	—	1,67	0,0005	11,9	4,07	2,95	1,38
Там же	1422	—	10	100	60,0	42,7	4,30	—	—	0,0005	11,9	4,07	2,29	1,78
Там же	1422	—	57	170	85,0	80,7	1,42	—	3,50	0,0005	11,9	4,07	2,96	1,37
р. Нюкжа, ухвостье побочня, левый берег	1423	10	77	144	—	79,0	1,03	14,40	1,59	0,0005	10,5	—	—	—
Там же, середина побочня	1423	17	100	190	—	99,0	0,99	11,20	1,85	0,0005	10,5	—	—	—
Там же, приверх побочня	1423	17	58	177	—	71,0	1,22	10,40	1,56	0,0005	10,5	—	—	—
р. Талума, устьевой участок	1424	—	55	122	62,5	72,6	1,32	—	1,74	—	—	—	—	—
Там же	1424	13	49	127	69,9	75,7	1,54	9,77	1,60	—	—	—	—	—
Там же	1424	10	40	75	61,2	60,1	1,50	7,50	1,56	—	—	—	—	—
Там же	1424	—	55	200	87,5	80,1	1,46	—	—	—	—	—	—	—
р. Талума, устьевой участок	1424	—	71	197	87,2	107,5	1,51	—	1,51	—	—	—	—	—
р. Нюкжа, правый берег	1425	28	72	185	—	81,0	1,12	6,60	1,61	0,0007	11,0	—	—	—
Там же, левый берег	1425	63	138	195	—	135,0	0,98	3,10	1,28	0,0007	11,0	—	—	—
р. Нюкжа, осередок, гребень	1426	13	35	92	—	45,0	1,28	7,10	1,49	0,0004	14,0	3,72	2,07	1,80
р. Нюкжа, конус выноса р. Талумы	1426	17	74	184	—	84,0	1,14	10,80	1,75	0,0004	14,0	3,72	2,78	1,34
р. Нюкжа, побочень, правый берег	1426	61	136	194		124,0	0,91	3,20	1,27	0,0004	14,0	3,72	3,37	1,10
р. Нюкжа, подвальные гряды	1427	12	28	49	—	29,0	1,03	4,10	1,41	0,0004	14,0	3,72	1,90	1,96

Место взятия проб	Расстояние по трассе, км	d_5 мм	d_{50} мм	d_{95} мм	$\bar{d}$ мм	$d_{\text{св}}$ мм	$d_{\text{св}}/d_{50}$	d_{95}/d_5	$\sqrt{d_{95}/d_5}$	I	H м	v м/с	v_0 м/с	v/v_0
Там же, напорный скат гряды	1427	11	22	44	—	23,0	1,04	4,00	1,32	0,0004	14,0	3,72	1,73	2,14
р. Нюкжа, правый берег	1427	14	46	110	—	54,0	1,17	7,90	1,57	0,0004	14,0	3,72	2,32	1,61
р. Нюкжа, правый берег	1427	12	31	88	—	36,0	1,16	7,38	1,48	0,0004	14,0	3,72	1,97	1,88
р. Нюкжа, приверх острова	1427	22	80	204	—	85,0	1,06	9,30	1,54	0,0004	14,0	3,72	2,88	1,29
р. Нюкжа, правый берег	1433	20	78	143	—	80,0	1,02	7,20	1,55	0,0004	12,0	—	—	—
Там же, левый берег	1434	16	64	186	—	67,0	1,05	11,60	2,00	0,0005	12,0	—	—	—
р. Нюкжа, ухвостье острова	1434	22	46	134	—	60,0	1,30	6,10	1,47	0,0005	12,0	—	—	—
Там же	1434	14	42	93	—	46,0	1,09	6,60	1,55	0,0005	11,0	—	—	—
Там же, приверх острова	1435	15	42	117	—	37,0	0,88	7,80	1,39	0,0004	11,5	3,65	2,23	1,64
р. Нюкжа, мостовой переход, левый берег	1441	20	102	215	84,6	141,8	1,39	10,75	1,59	0,0006	10,0	4,70	2,96	1,59
Там же	1441	—	67	186	97,0	108,0	1,61	—	2,02	0,0006	10,0	4,70	3,17	1,48
Там же, выше мостового перехода	1441	9	43	168	83,1	86,9	2,02	18,67	2,01	0,0006	10,0	4,70	2,93	1,60
Там же	1441	—	47	240	95,7	97,7	2,08	—	3,53	0,0006	10,0	4,70	2,96	1,59
Там же	1441	—	67	160	99,1	101,2	1,51	—	1,90	0,0006	10,0	4,70	3,21	1,46
Там же	1441	9	57	190	56,5	92,0	1,61	21,10	2,25	0,0006	10,0	4,70	2,50	1,88
р. Нюкжа, приверх острова	1441	15	47	85	60,5	64,2	1,37	5,67	1,46	0,0006	10,0	4,70	2,56	1,83
Там же, середина острова	1441	15	42	74	60,5	60,5	1,44	4,93	1,44	0,0006	10,0	4,70	2,56	1,83
р. Нюкжа, мостовой переход, правый берег	1441	85	268	335	179,0	255,2	0,95	3,94	1,58	0,0006	10,0	4,70	3,64	1,29
Там же	1441	37	68	160	81,2	98,4	1,45	4,32	1,43	0,0006	10,0	4,70	2,90	1,62
р. Нюкжа, ухвостье острова	1441	8	31	111	50,7	48,0	1,55	13,87	1,81	0,0004	12,5	—	—	—

Основные характеристики внутрирусловых отложений по данным наземного обследования

Расстояние от устья, км	Место отбора проб	Диаметры отложений в мм разной обеспеченности в %			$d_{макс}$, см	Расстояние между камнями с максимальным диаметром, м	Диаметр одиночных камней, см	Характеристики неоднородности отклонений		
								по Кнорозу		по Рухану
		d_5	d_{50}	d_{95}				d_{25}/d_5	d_{75}/d_{25}	$\sqrt{d_{75}/d_{25}}$
	р. Ср. Сакукан, 1-я от устья наледь (обследован 6/VII-78 г.)									
	Наледь	20	42	92	—	—	—	4,6	2,0	1,4
	Наледь	20	55	115				5,7	2,2	1,5
	Участок р. Муи от 292 по 161 км от устья (обследован 09—18/VII-78 г.)									
291	Отмостка	10	47	175	—	—	—	17,5	3,7	1,8
288	Отмостка	16	35	83	13	5,0	20	5,2	1,9	1,4
286	Вынос р. Итыкит	25	90	285	—	—	100	11,4	4,3	2,1
286	Отмостка	3	23	112	25	1,0	60	37,0	4,6	2,2
286	Пляж	3	41	105	30	2,0	40	35,0	5,1	2,2
284	Осередок	17	30	48	10	1,5	—	2,8	1,7	1,3
283	Отмостка	18	58	360	45	3,0	—	20,0	4,3	2,1
282	Отмостка	5	45	137	25	3,0	—	27,0	4,7	2,1
281	Приверх пляжа	6	63	230	25	1,5	—	38,0	5,7	2,4
279	Осередок	27	65	188	40	3,0	70	7,0	2,4	1,5
274	Отмостка	41	83	265	47	3,5	—	6,5	2,3	1,5
272	Пятно на приверхе пляжа	18	63	103	15	0,7	—	5,7	1,7	1,3
270	Перекат	16	75	245	25	1,2	35	15,0	2,5	1,6
269	Приверх пляжа	16	60	95	15	2,0	—	6,0	2,0	1,4
268	Приверх пляжа	13	38	93	17	1,0—1,5	—	7,1	2,3	1,5
268	Приверх пляжа	6	23	75	15	3,0	—	12,5	2,8	1,7
265	Отмостка	11	75	270	27	0,5	—	24,5	3,7	1,9

Расстояние от устья, км	Место отбора проб	Диаметры отложений в мм разной обеспеченности в %			$d_{макс}$, см	Расстояние между камнями с максимальным диаметром, м	Диаметр одиночных камней, см	Характеристики неоднородности отклонений		
								по Кнорозу		по Рухану
		d_5	d_{50}	d_{95}				d_{95}/d_5	d_{75}/d_{25}	$\sqrt{d_{75}/d_{25}}$
261	Олнинский порог	50	280	480	150—200	1,5	300	9,6	3 6	1,9
259	Олнинский порог	42	215	380	52	0,5	—	9,0	2,5	1,6
258	Осередок	85	285	390	80	3,0	—	4,6	1,7	1,3
257	Пляж	9	90	260	37	3,0	—	2,9	2,6	1,6
251	Приверх пляжа	3	43	140	30	2,3	50	47,0	8,6	2,9
243	Пятно на приверхе пляжа	1	9	18	крупный песок, следы гальки			18,0	2,8	1,6
240	Приверх пляжа	2	17	75	12	1,5	—	37,5	5,0	2,2
233	Приверх пляжа	1	9	18	крупный песок, следы гальки			18,0	2,8	1,7
226	Устье р Ниж Олни	58	220	380	40	1,5—2,0	60	6,6	1,8	1,3
226	Устье р Ниж Олни	52	120	192	40	1,5—2,0	60	3,6	2,2	1,5
226	Устье р Ниж Олни	35	175	380	40	1,5—2,0	60	10,8	2,8	1,7
226	Устье р Ниж Олни	23	85	370	40	1,5—2,0	60	16,0	2,8	1,7
226	Устье р Ниж Олни	52	360	490	40	1,5—2,0	60	9,4	2,9	1,7
225	Приверх острова	43	105	270	40	5,0	70	6,3	3,0	1,7
221	Отмостка	23	85	190	30	0,5	50	8,3	3,1	1,8
220	Приверх пляжа	18	75	170	—	—	—	9,4	2,9	1,7
220	Приверх осередка	17	57	135	25	5,0	—	8,0	2,5	1,6
217	Пляж	20	57	150	—	—	—	7,5	2,0	1,4
215	Пляж	16	61	175	27	1,0	35	11,0	3,5	1,9
212	Пляж	16	53	137	18	1,0	—	8,6	2,7	1,7
211	Пляж	—	—	—	28	3,0	—	—	—	—
206	Приверх пляжа	16	58	126	20	10,0	—	7,9	2,3	1,5
203	Приверх пляжа	3	27	93	—	—	—	31,0	3,6	1,9
198	Конус выноса	42	125	28	35	2,0	40	6,7	2,7	1,6
196	Конус выноса	27	185	375	40	2,0	—	14,0	3,4	1,8
195	Конус выноса	23	92	275	30	2,0	—	12,0	3,0	1,7
191	Конус выноса р Акукан	20	95	280	35	3,0	—	14,0	4,2	2,1
190	Приверх пляжа	5	49	125	18	—	—	25,0	4,0	2,0
182	Приверх пляжа	12	27	75	12	1,5	—	6,2	2,3	1,5

176	Осередок	10	32	87	—	—	—	8,7	2,8	1,7
176	Приверх пляжа	7	37	92	13	1,0	—	13,0	3,4	1,8
161	Устье р. Горбылок	55	182	390	150	1,0	300	7,1	2,8	1,7
161	*Левый берег*	40	155	380	150	1,0	300	9,5	4,0	2,0

Участок р. Муи от 144 до 66 км (обследован 25—31/VII-77 г.)

143	На выходе из протоки	65	168	300	70	10,0	—	4,6	2,2	1,5
143	На входе в протоку	30	265	435	70	10,0	—	14,5	5,5	2,3
142	Приверх пляжа	35	83	175	40	2,0	—	5,0	2,6	1,6
142	Середина пляжа	35	78	185	40	2,0	—	5,3	2,7	1,6
141	Ухвостье пляжа	35	60	165	35	5,0	—	4,7	2,2	1,5
139	На входе в протоку	35	113	315	60	2,0	—	9,0	3,4	1,8
139	На входе в протоку	35	170	335	60	2,0	—	9,6	2,0	1,4
138	Приверх пляжа	32	70	175	35	3,0	—	5,5	2,4	1,5
138	На выходе из протоки	35	105	188	35	3,0	—	5,4	2,2	1,5
137	Приверх пляжа	28	90	200	30	2,5	—	7,1	2,9	1,7
137	Середина пляжа	28	65	193	30	2,5	—	6,9	2,4	1,5
136	Середина пляжа	35	70	193	55	7,0	—	5,5	3,0	1,7
136	Приверх пляжа	28	113	275	55	7,0	—	9,8	2,2	1,5
136	Ухвостье пляжа	35	60	160	55	7,0	—	4,6	2,0	1,4
134	Приверх пляжа	28	60	175	25	1,5	—	6,2	2,2	1,5
133	Ухвостье пляжа	28	50	120	25	1,5	50	4,3	1,8	1,3
131	Приверх пляжа	20	55	175	25	2,0		8,8	1,7	1,3
131	Середина пляжа	20	44	105	25	2,0	40	5,3	1,7	1,3
131	Ухвостье пляжа	20	48	108	25	2,0	40	5,4	1,9	1,4
130	Приверх пляжа	20	50	111	25	2,0	35	5,6	2,0	1,4
129	Приверх пляжа	20	98	200	50	8,0	—	10,0	2,5	1,6
128	Осередок	18	48	110	25	2,0	—	6,1	2,0	1,4
128	Приверх пляжа	18	42	75	—	—	—	4,2	1,9	1,4
128	Приверх пляжа	18	48	110	—	—	—	6,1	2,0	1,4
128	Приверх пляжа	20	47	106	—	—	—	5,3	1,9	1,4
126	Осередок	24	60	106	35—40	2,0	—	4,4	2,2	1,5
123	Приверх пляжа	15	47	108	35	2,0	—	7,2	2,3	1,5
122	Середина пляжа	14	44	105	35	2,0	—	7,5	2,1	1,4
121	Приверх пляжа	16	42	73	18	2,0	—	4,6	2,2	1,5
120	Приверх пляжа	7	28	73	12—18	1,5—2,0	—	10,5	2,7	1,6

Расстояние от устья, км	Место отбора проб	Диаметры отложений в мм разной обеспеченности в %			$d_{макс}$, см	Расстояние между камнями с максимальным диаметром, м	Диаметр одиночных камней, см	Характеристики неоднородности отклонений		
								по Кнорозу		по Рухину
		d_5	d_{50}	d_{95}				d_{95}/d_5	d_{75}/d_{25}	$\sqrt{d_{75}/d_{25}}$
120	Приверх пляжа	5	20	60	12—18	1,5—2,0	—	12,0	2,6	1,6
120	Приверх пляжа	9	28	73	12—18	1,5—2,0	—	8,2	2,9	1,7
118	Приверх пляжа	12	45	120	40	1,5—2,0	—	10,0	3,2	1,8
116	Приверх пляжа	12	38	105	30	1,5	45	8,8	2,7	1,6
115	Приверх пляжа	10	75	250	40	2,0	60	25,0	3,3	1,8
114	Приверх осередка	8	24	65	17—20	2,0—3,0	—	8,1	2,5	1,6
110	Приверх пляжа	7	20	60	10—12	1,5	—	8,6	2,3	1,5
101	Приверх пляжа	7	41	98	12—15	1,0	20	14,0	2,3	1,5
99	Приверх пляжа	10	52	165	35—40	1,5—2,0	—	16,5	4,0	2,0
98	Приверх пляжа	10	41	85	18—20	2,0	30	8,5	2,2	1,5
97	Устье р. Муякан	10	34	100	25	1,0—1,5	—	10,0	2,8	1,7
96	Приверх пляжа	10	38	100	25	2,0—3,0	—	10,0	2,4	1,5
95	Приверх пляжа	8	20	65	15—20	1,0	—	8,1	2,5	1,6
94	Осередок	10	45	135	20	2,0	30	13,5	4,5	2,1
93	Приверх пляжа	10	35	155	30	1,5—2,0	45	15,5	4,7	2,2
92	Приверх пляжа	10	41	155	30	1,5—2,0	—	15,5	5,1	2,3
92	Середина пляжа	5	50	120	17—20	2,0	—	24,0	3,1	1,8
92	Ухвостье пляжа	5	30	112	18	2,0	—	23,0	4,3	2,1
91	Приверх пляжа	10	38	140	20—25	2,0	55	14,0	2,5	1,6
90	Приверх острова	10	41	130	20—25	3,0		13,0	3.0	1,7
89	Приверх пляжа	10	28	70	15—18	1,5—2,0		7,0	2,6	1,6
89	Приверх пляжа	10	35	140	25	3,0—2,5	40	14,0	2.5	1,6
87	Приверх пляжа	7	17	50	8—10	2,5	15	7,1	2.3	1,5
85	Приверх пляжа	6	35	125	25	2,0	40	21,0	3,3	1,8
83	Приверх пляжа	9	24	65	10—12	1,5	18	7,2	2,6	1,6
79	В подвалье гряды	8	19	50	—	—	—	6,2	2,3	1,5
77	Середина пляжа	7	19	35	8	0,5	—	5,0	2,2	1,5
76	Устье р. Келяна	10	88	265	50	2,0	—	26,5	3,0	1,7
73	Середина пляжа	12	50	175	45—50	1,5—2,0	—	14,5	3,2	1,8
72	Приверх пляжа	10	50	150	25—30	3,0—4,0	—	15,0	2,7	1,6

72	Приверх пляжа	27	90	180	55	2,0—2,5	—	6,7	2,9	1,7
71	Середина пляжа	29	55	175	35—40	2,5—3,0	—	6,0	2,8	1,7
71	Середина пляжа	27	47	125	25—30	3,0—4,0	—	4,6	1,8	1,3
71	Ухвостье пляжа	17	47	115	25	3,0	—	6,8	1,8	1,3
71	Приверх пляжа	6	36	68	20—25	2,0	—	11,3	2,0	1,4
70	Ухвостье пляжа	9	42	105	25—30	3,0	—	11,8	2,1	1,4
69	Приверх пляжа	23	115	300	60—70	2,0—3,0	—	13,0	3,5	1,9
69	Середина пляжа	4	20	75	18	2,0—3,0	—	18,7	3,5	1,9

Участок р. Муи от 96 км до впадения в р. Витим (обследован 24—29/VII-78 г.)

96	Приверх пляжа	20	49	95	—	—	—	4,7	2,4	1,5
94	Приверх пляжа	20	55	285	30	2,0	—	14,2	4,6	2,1
90	Приверх острова	17	39	102	—	—	—	6,0	2,2	1,5
85	Приверх острова	20	85	190	35	2,0	—	9,5	3,9	2,0
84	Осередок	18	42	105	—	—	—	5,8	2,3	1,5
74	Отмостка	20	63	138	30	1,0	40	6,9	2,9	1,7
74	Середина пляжа	21	90	250	40	1,0	—	12,0	3,4	1,8
74	Середина пляжа	15	33	83	—	—	—	5,5	2,0	1,4
72	Приверх пляжа	20	87	190	35	1,0	—	9,5	3,6	1,9
72	Приверх пляжа	—	—	—	35	2,0—2,5	50	—	—	—
71	Приверх пляжа	18	62	250	25	1,0	—	14,0	5,3	2,3
70	Приверх пляжа	20	85	275	—	—	—	13,7	4,2	2,0
69	Приверх пляжа	39	82	160	—	—	—	4,1	2,2	1,5
67	Приверх пляжа	18	41	125	20	1,5	—	7,0	2,6	1,6
64	Приверх пляжа	20	62	130	—	—	—	6,5	2,1	1,5
59	Приверх пляжа	19	55	112	—	—	—	5,9	2,3	1,5

Участок р. Муякан от 136 км до впадения в р. Мую (обследован 19—24/VII-78 г.)

137	Пляж	—	—	—	15	1,0	—	—	—	—
136	Пляж	—	—	—	15	1,0	—	—	—	—
136	Пляж	58	175	290	—	—	150	5,0	2,8	1,7
136	Пляж	7	71	265	—	—	150	38,0	2,0	1,4
135	Пляж	19	70	165	—	—	—	8,7	2,7	1,6
134	Пляж	22	165	360	45	1,5	70	16,5	2,9	1,7

Расстояние от устья, км	Место отбора проб	Диаметры отложений в мм разной обеспеченности в %			$d_{макс}$, мм	Расстояние между камнями с максимальным диаметром, м	Диаметр одиночных камней, см	Характеристики неоднородности отложений		
								по Кнорозу		по Рухану
		d_5	d_{50}	d_{95}				d_{95}/d_5	d_{75}/d_{25}	$\sqrt{d_{75}/d_{25}}$
133	Пляж	22	118	275	45	3,0—5,0	—	12,5	2,3	1,5
131	Пляж	10	26	75	—	—	—	7,5	2,6	1,6
131	Пляж	23	82	225	35	1,0—1,5	—	9,7	2,9	1,7
129	Левая протока	5	48	175	20	—	—	35,0	4,0	2,0
129	Правая протока	55	147	285	56	1,0—1,5	—	5,2	2,3	1,5
129	Пляж	16	41	92	15	1,0	—	5,8	2,1	1,4
127	Пляж	24	112	280	30	0,8	40	11,7	4,0	2,0
126	Пляж	15	67	157	18	2,0	—	10,5	2,4	1,5
126	Пляж	15	48	120	—	—	—	8,0	2,8	1,6
125	Приверх пляжа	20	87	240	35	3,0	40	12,0	3,2	1,8
122	Приверх пляжа	20	50	105	28	2,0	—	5,2	2,1	1,5
122	Середина пляжа	20	76	175	30	1,0	—	8,8	2,2	1,5
121	Приверх пляжа	16	63	150	28	1,5	—	9,5	2,9	1,7
118	Приверх пляжа	11	50	105	30	1,5	—	9,5	2,7	1,6
116	Приверх пляжа	11	50	95	21	3,0	—	8,6	2,9	1,7
114	Приверх пляжа	4	23	47	—	—	—	11,7	2,7	1,6
111	Приверх пляжа	4	24	50	—	—	—	12,5	2,6	1,6
105	Конус выноса	3	17	75	—	—	—	25,0	4,3	2,1
104	Пятно на пляже	3	17	75	—	—	—	25,0	4,3	2,1
54	Выносы р Амнунды	3	17	87	18	3,0	—	29,0	5,4	2,3
51	Конус схода селя	галька, песок, деревья, мусор			40	1,5	—	—	—	—
51	Конус схода селя	—	—	—	70	10	—	—	—	—
51	Конус схода селя	—	—	—	40	1,5	50	—	—	—
46	Приверх пляжа	—	—	—	30	5,0	—	—	—	—
36	Приверх пляжа	—	—	—	17	1,0	—	—	—	—
34	Осередок	—	—	—	17	3,0	—	—	—	—
12	Вынос р Сунуекит	—	—	—	35	1,0	—	—	—	—
40	Осередок	18	58	95	20	—	100	5,3	2,0	1,4
9	Вынос р Акуьан	41	200	385	65	1,5—2,0	—	9,4	4,1	2,0

9	Вынос р. Акукан	23	112	365	25	1,0	60	16,0	5,0	2,2
3	Приверх пляжа	22	87	295	—	—	—	13,5	3,7	1,9
4	Середина пляжа	17	55	110	25	3,0	—	6,5	2,4	1,7
3	Пляж	20	49	95	—	—	—	4,7	2,4	1,7
	Участок р. Куанды от 68 км до впадения в р. Витим (обследован 29—31/VII-78 г.)									
64	Приверх пляжа	19	55	112				5,9	2,3	1,5
47	Приверх пляжа	19	36	87				4,5	2,0	1,4
45	Приверх пляжа	20	47	100	25	3,0	—	5,0	2,2	1,5
42	Приверх пляжа	18	80	260	25	1,0	—	14,5	2,2	1,5
38	Вынос р. Куда-Малая	22	47	95	18	2,5	—	4,3	2,0	1,4
36	Пляж	21	48	115	18	1,0	30	5,5	2,1	1,4
34	Пляж	21	62	112	25	3,0	—	5,3	1,9	1,4
30	Приверх пляжа	23	100	145	—	—	—	6,3	1,9	1,4
28	Осередок	21	44	100	20	1,0	—	4,8	2,2	1,5
22	Приверх пляжа	11	35	90	—	—	—	8,2	3,0	1,7
	р. Витим ниже устья р. Муи (31/VII-78 г.)									
	Пляж	9	26	47	—	—	—	5,2	2,2	1,5
	Участок р. Чары от гидрологического поста Чара 0,8 км до Сулуматских порогов (обследован 07—14/VII-79 г.)									
	Середина пляжа	15	54	130	20	2,0	—	8,7	2,1	1,45
	Середина пляжа	10	49	130	17	2,5	—	13,0	3,6	1,90
	Середина пляжа	17	49	130	27	1,5	—	7,6	3,1	1,76
	Середина пляжа	7,5	34	150	25	2,0	30	20,0	3,2	1,80
	Середина пляжа	23	40	125	25	5,0	—	5,4	2,4	1,55
	Середина пляжа	18	57	130	30	3,0	—	7,2	3,0	1,73
	Приверх пляжа	27	105	270	27	5,0	—	10,0	3,0	1,73
	Середина пляжа	8	105	176	30	3,0	—	22,0	2,7	1,65
816	Приверх пляжа	33	132	280	35	1,5	—	8,5	3,8	1,95
814	Вынос из р. Ингамакит	25	75	245	35	2,5—3,5	—	9,8	2,8	1,67

Расстояние от устья, км	Место отбора проб	Диаметры отложений в мм разной обеспеченности в %			$d_{макс}$, мм	Расстояние между камнями с максимальным диаметром, м	Диаметр одиночных камней, см	Характеристики неоднородности отложений		
								по Кнорозу		по Рухану
		d_5	d_{50}	d_{95}				d_{95}/d_5	d_{75}/d_{25}	$\sqrt{d_{75}/d_{25}}$
813	Ниже устья р. Ингамакит	40	105	190	22	2,0	—	4,8	1,9	1,38
812	Приверх пляжа	25	72	163	25	0,5	30	6,5	3,1	1,76
811	Приверх пляжа	25	72	260	26	2,5	—	10,4	2,9	1,70
810	Осередок	24	53	175	20	1,5—2,0	—	7,3	2,2	1,48
808	Приверх пляжа	4	48	130	30	7,0	—	32,6	4,5	2,12
807	Приверх осередка	7	40	150	15	1,5	—	21,4	3,0	1,73
802	Середина пляжа	7	48	100	18	2,0	—	14,3	3,0	1,73
798	Отмостка	8	40	75	12	1,0	—	9,4	2,8	1,68
796	Приверх пляжа	11	27	75	15	1,5	—	6,8	2,7	1,65
790	Приверх пляжа	12	48	120	25	1,0	40	10,0	2,7	1,65
789	Приверх пляжа	12	47	88	15	1,5—2,0	35	7,3	3,0	1,73
785	Приверх пляжа	9	21	68	12	1,0—1,5	—	7,5	2,3	1,53
781	Приверх пляжа	6	20	68	12	3,0	—	11,3	2,8	1,68
778	Приверх пляжа	7	21	68	10	1,0	—	9,7	2,2	1,49
774	Приверх пляжа	8	22	75	15	2,0	—	9,4	3,0	1,73
773	Устье р. Нурунгнакана	20	130	220	30	5,0	—	11,0	3,0	1,73
773	Устье р. Нурунгнакана	18	70	185	27	1,0	35	10,3	3,4	1,85
773	Устье р. Нурунгнакана	31	105	275	30	1,5	—	8,9	2,7	1,65
771	Приверх пляжа	13	100	280	28	2,0	—	21,5	4,6	2,15
766	Приверх пляжа	13	40	125	14	2,5	—	9,6	3,2	1,79
763	Отмостка	13	27	70	12	0,8	—	5,4	2,8	1,67
759	Приверх пляжа	13	18	25	10	1,5	—	1,9	1,4	1,19
735	Приверх пляжа	13	36	75	15	1,0	—	5,7	3,1	1,76
726	Одиночное пятно	13	40	70	15	1,0	—	5,4	2,7	1,65
724	Старые выносы р. Кемен	3	17	125	15	1,0	—	41,5	4,3	2,06
722	Устье р. Кемен	10	20	58	15	1,5	—	5,8	1,9	1,38
706	Отмостка	28	72	187	—	—	—	6,7	2,8	1,67
	Наледь р. Мурурин	39	88	187	—	—	—	4,8	2,3	1,52
	Наледь р. Мурурин	17	50	131	—	—	—	7,7	2,4	1,55

Характеристика формы частиц донных наносов русел рек зоны БАМ

Расстояние по трассе, км	Место взятия проб	№ пробы	a см	b см	c см	d см	Θ	a/b	b/a	b/c	c/b	b/d	C_{v_0}	$C_{v_{a/b}}$	$C_{v_{b/c}}$	$C_{v_{c/b}}$	Число членов в ряду
1441	р. Нюкжа, мостовой переход	1	11,9	8,0	5,0	8,3	0,72	1,49	0,66	1,75	0,61	0,97	0,11	0,22	0,28	0,28	30
1426	р. Тулума, устье	85	10,9	7,5	3,3	7,3	0,66	1,48	0,68	2,52	0,46	1,03	0,12	0,24	0,41	0,39	51
1423	р. Нюкжа, левый берег	2	15,5	11,5	6,5	11,2	0,70	1,35	0,74	1,77	0,56	5,02	0,11	0,22	0,37	0,28	72
1423	р. Нюкжа, правый берег	93	12,5	7,8	4,5	7,7	0,71	1,43	0,70	1,90	0,58	1,01	0,11	0,17	0,33	0,31	51
1417	р. Нюкжа, русловая форма у правого берега	23	14,9	9,1	6,0	9,99	0,74	1,65	0,61	1,61	0,64	0,95	0,08	0,24	0,20	0,20	43
1403	р. Нюкжа, устье	3	4,9	3,3	2,1	3,4	0,74	1,51	0,66	1,67	0,64	0,96	0,14	0,19	0,25	0,33	53
1400	р. Олекма, выше слияния с р. Нюкжа	18	11,9	7,9	5,1	8,3	0,75	1,54	0,65	1,59	0,66	0,96	0,09	0,30	0,21	0,20	54
1312	р. Хани, створ мостового перехода	59	19,1	14,7	10,7	14,8	0,79	1,35	0,74	1,41	0,74	0,99	0,09	0,16	0,20	0,19	43
1312	р. Хани, створ мостового перехода (валуны)	6	95,0	69,0	48,0	70,9	0,76	1,39	0,72	1,46	0,70	0,98	0,07	0,14	0,15	0,14	31
1295	р. Ханхули	36	9,9	7,1	4,9	7,3	0,77	1,45	0,69	1,48	0,71	0,97	0,09	0,22	0,24	0,22	60
1295	р. Хани, выше впадения р. Хангули	41	7,7	5,7	4,1	5,8	0,77	1,41	0,71	1,50	0,70	1,98	0,09	0,15	0,27	0,20	31
1281	р. Эванокит (конус выноса)	27	11,9	9,1	5,6	9,0	0,76	1,37	0,73	1,55	0,67	1,01	0,09	0,20	0,21	0,22	60
1271	р. Хани	20	13,5	9,8	6,8	10,0	0,77	1,39	0,72	1,48	0,70	0,98	0,09	0,17	0,26	0,21	60
1271	р. Хани, побочень	5	14,7	11,0	6,8	10,8	0,61	1,35	0,74	1,85	0,59	1,02	0,13	0,20	0,35	0,27	60
1260	р. Хани, гребень гряды	7	11,4	8,0	5,8	8,4	0,78	1,44	0,69	1,44	0,73	0,95	0,09	0,19	0,22	0,20	60
1260	р. Хани, приверх побочня, ниже впадения р. Алгуаль	4	14,6	10,0	6,4	10,3	0,75	1,43	0,70	1,60	0,66	0,93	0,08	0,19	0,26	0,21	40

Примечание. a — длина частицы; b — ширина частицы; c — толщина частицы; $\Theta = b/a$ — коэффициент формы частицы; C_v — коэффициент вариации.

Плановые деформации на реках зоны БАМ

Река	Тип руслового процесса	Годы сравнения	Максимальная скорость смещения береговой линии, м/год		Полный цикл развития излучины, год
			размыв	намыв	
Бассейн р. Олекмы					
Нюкжа	СМ	1944—1975	1,0	1,0	700—2000
„	НМ		1,0—3,0	1,0—3,0	400—600
„	ОМ		1,0—2,0	1,0—2,0	—
„	РМН		2,0—5,0	2,0—5,0	—
„	ВМ		до 1,5	1,0	—
Верхняя Ларба	НМ	1944—1968	2,0—4,0	2,0—4,0	100—500
Средняя Ларба	НМ	1944—1968	2,0—6,0	2,0—6,0	100—500
Нижняя Ларба	НМ	1944—1968	<1,0	—	—
Лопча	СМ	1944—1968	1,0—2,0	1,0—2,0	—
Чильчи	НМ	1944—1968	<0,5	—	—
Унгуркхей	НМ	1944—1968	0,8	1,0	150—500
Верхняя Сувельга	НМ	1949—1975	1,0	1,0	—
Нижняя Сувельга	НМ	1949—1975	2,0—3,5	2,0—3,5	150—600
Талума	НМ	1949—1975	1,0—3,0	1,0—3,0	—
Олекма	ВМН	1949—1975	5,0	10,0	—
„	РМ	1949—1975	до 2,0	—	—
Тас-Юрях	ГРМН	1949—1975	4,0—7,0	4,0—7,0	—
Имангра	ГРМН	1949—1975	4,0—7,0	4,0—7,0	—
Хани	ВМ	1949—1975	до 1,5	—	—
Чарская котловина					
Чара	СМ	1964—1975	<0,5	—	>4500
			0,5—1,0	0,5—1,0	2000—4500
			1,5—2,0	1,5—2,0	700—1500
„	НМ	1964—1975	7,0—9,0	7,0—9,0	70—120
Лурбун	НМ	1964—1975	4,5—5,5	4,5—5,5	50—80
Ингамакит	НМ	1964—1975	2,5—4,5	2,5—4,5	70—100
„	ГРМН		4,5—6,5	4,5—6,5	—
Верхний Сакукан	НМ	1964—1975	0,5—1,5	0,5—1,5	150—450
То же	НМН	1964—1975	4,0—6,0	5,0—12,0	—
Средний Сакукан	НМ	1964—1975	0,5—1,5	0,5—1,5	150—450
То же	НМН	1964—1975	3,0—5,0	3,0—5,0	—
Кемен	НМ	1964—1975	2,0—3,5	2,0—3,5	100—150
„	ГРМН	1964—1975	8,0—9,0	8,0—9,0	—
Муйско-Куандинская котловина					
Витим	ПМН и РМН	1966—1975	0,5	4,0	—
Муя	СМ	1948—1975	0,5—1,0	—	2000—4000
„	СМ	1948—1975	1,0—1,5	—	300—1000
„	За паводок редкой обеспеченности	1948—1975	3,0—7,0	—	—

Река	Тип руслового процесса	Годы сравнения	Максимальная скорость смещения береговой линии, м/год		Полный цикл развития излучины, год
			размыв	намыв	
Муя	Переходный участок ниже р. Муякана	1948—1975	3,0—5,0	—	—
Муякан	ГРМН	1948—1975	2,5—8,5	2,5—8,5	—
„	СМ	1948—1975	0,5—1,5	—	300—1300
Куанда	СМ	—	1,0—2,0	—	—
Бассейн р. Гилюя					
Гилюй выше устья р. Малого Гилюя	НМ	1943—1967	1,5—2,0	1,5—2,0	—
Гилюй у устья р. Малого Гилюя	НМ	1943—1967	3,0—6,0	3,0—6,0	—
То же	НМ	1943—1976	3,0—5,5	3,0—5,5	—
Гилюй у устья р. Могота	НМ	1968—1976	3,0—6,0	4,0—8,0	—
Гилюй у устья р. Джелтулы	НМ	1943—1976	2,5—3,0	3,0	—
Могот	НМ	1944—1976	2,5—4,5	2,5—4,0	—
Лапри	ГРМН	1944—1976	1,5—4,5	3,5—4,0	—
Геткан	СМ	1944—1976	<1,0	<1,0	—
Бассейн р. Селемджи					
Селемджа	ПМН и РМН	1952—1974	20,0—23,0	20,0—23,0	—
Бысса	СМ	1953—1974	<0,5	<0,5	—
Янсай	СМ	1953—1974	<0,5	—	—
Бурунда	СМ	1953—1974	<1,0	—	—
Меун	СМ	1953—1974	<0,5	—	—
Большая Эльга	СМ	1953—1974	<0,5	—	—
Бассейн р. Амгуни					
Амгунь	ГРМН	1968—1979	15—23	15—23	—
	ПБ	1968—1979	7,0	7,0	—
	ОМ	1968—1979	4,5	4,5	—
	НМ	1968—1979	12,0	12,0	
Герби	ГРМН	1968—1979	4,5	4,5	
Талиджак	ГРМН	1968—1979	4,0	4,0	
Баджал	ГРМН	1968—1979	12,0	12,0	

Примечание. ПБ — побочневый тип руслового процесса; СМ — свободное меандрирование; НМ — незавершенное меандрирование; ОМ — ограниченное меандрирование; ВМ — вынужденное меандрирование; РМН — русловая многорукавность; ГРМН — горная русловая многорукавность; НМН — наледная многорукавность; ПМН — пойменная многорукавность.

gost.e-ecolog.ru