ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА

Одобрены Методической комиссией
Государственного гидрологического института по приборам
и методам получения и переработки гидрологической информации
(22 ноября 1984 г.)

ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1985

gost.e-ecolog.ru

УДК 556.537 : 528.74

Ответственный редактор — канд. геогр. наук В. Ф. Усачев

В Рекомендациях раскрываются возможности применения материалов различных видов аэрокосмических съемок для анализа руслового процесса при: типизации руслового процесса, определении плановых деформаций, проведении наземных работ, оценке антропогенного воздействия в речных бассейнах, восстановлении истории развития рек.

Рекомендации предназначены для научных, проектных и производственных организаций водохозяйственного профиля.

Рекомендации
по использованию аэрокосмической
информации
при изучении руслового процесса

Редактор Е. Э. Булаховская. Технический редактор Л. М. Шишкова.
Корректор Е. А. Жарова

Н/К

Сдано в набор 01.04.85. Подписано в печать 27.06.85. М-22437. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 4,93 (в т. ч. вкл.) Кр.-отт. 5,06. Уч.-изд. л. 5,7. Тираж 540 экз. Индекс ГЛ-231. Заказ № 122. Цена 30 коп. Заказное.

Гидрометеоиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, 23.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6.

Р $\frac{1903030200\text{-}121}{069(02)\text{-}85}$ без объявл.

© Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (Госкомгидромет), 1985 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Привлечение аэрофотосъемочного материала для изучения речных русел открыло новый этап в развитии теории руслового процесса и в ее практическом использовании. Так, обработанный в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) массовый аэрофотосъемочный и картографический материал открыл широкие возможности для формирования некоторых важных положений гидроморфологической теории руслового процесса, а также для внедрения результатов съемок рек в практику его гидроморфологического анализа [23, 26, 36]. Методическая сторона применения аэрофотосъемок при исследовании режима русел и пойм получила отражение в Рекомендациях [38, 39].

Дальнейшим развитием аэросъемок явились космические съемки, имеющие ряд преимуществ: охват больших территорий и любых регионов Земли, периодичность, всесезонность, многократная повторяемость.

Высокая эффективность анализа руслового процесса в разных регионах нашей страны достигнута при комплексном рассмотрении материалов космических съемок (космического фотографирования), аэрофотосъемок и наземных обследований. Выполненные исследования позволили расширить применительно к горным странам типизацию руслового процесса, ранее созданную ГГИ, составить карту типов русел рек зоны БАМ и обобщить первый опыт работ института в этой области [9, 37, 40, 47].

Тем не менее следует подчеркнуть, что использование, особенно комплексное, аэрокосмических материалов при анализе руслового режима рек пока не нашло широкого применения.

Настоящие Рекомендации призваны активизировать эту важную для теории и практики руслового процесса деятельность в научных, проектных и производственных организациях разных ведомств.

В Рекомендациях не изложены вопросы первичной (вводной) подготовки дешифровщиков. Сведения о процессах фотосъемки, обработки фотоматериалов, а также по дешифрированию элементов гидрографической сети, контуров растительности и др. можно получить в публикациях, многие из которых введены в учебный процесс, в частности, на географических факультетах университетов [1, 3—5, 10, 16, 17, 20, 26—28, 32, 36, 42, 43].

Рекомендации подготовлены в аэрокосмической лаборатории и отделе русловых процессов ГГИ на основе обобщения опыта использования аэрокосмических съемок при изучении руслового процесса. Они призваны раскрыть возможности применения материалов разных видов съемок и показать методические приемы использования аэрокосмической информации при решении некоторых вопросов теории и практики руслового процесса (его типизации, выявления плановых (горизонтальных) деформаций на участке реки и др.), проведении наземных работ, оценке влияния антропогенного воздействия, восстановлении истории развития котловин, долин, пойм и русел.

Рекомендации составлены ст. инж. Д. В. Снищенко и д-ром техн. наук Б. Ф. Снищенко.

Рецензент — канд. техн. наук З. Д. Копалиани.

Ценные замечания при просмотре рукописи высказаны проф., д-ром геогр. наук И. В. Поповым.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Носителем информации при аэрокосмических съемках является многоспектральное отраженное излучение, характеризующее оптические свойства природных объектов. По этим свойствам можно судить о состоянии и строении последних. Оптические свойства объектов меняются в течение года, сезона и суток. На них оказывает влияние целый ряд природных факторов и явлений [5, 19].

При аэрокосмических исследованиях земная поверхность изучается в видимой и ближней инфракрасной области спектра (визуальные наблюдения, телевизионная съемка, фотосъемка), а также в других частях спектра (инфракрасная, радиолокационная, спектрометрическая съемка), кроме того выполняется ряд специальных съемок. Характеристики основных видов аэрокосмических съемок приведены в табл. 1 [10].

В настоящее время основной объем информации, полученной при дистанционных исследованиях, представлен материалами, отснятыми в видимой области спектра (длины волн $\lambda = 0{,}38 \ldots 0{,}76$ мкм). Видимое излучение с различной длиной волны воспринимается глазом в виде светового и цветового изображения объектов.

Для получения наиболее полной информации об объекте исследований — реке с ее долиной, поймой, руслом, по возможности следует одновременно рассматривать материалы съемок, выполненных в различных диапазонах спектра.

Аэровизуальные наблюдения проводятся с вертолета или с самолета с целью общего осмотра района работ, контроля полноты и достоверности выполненного дешифрирования, выделения границ затопления пойм, ледовой разведки на реках и озерах. Аэровизуальные наблюдения выполняются по маршрутам, заранее намеченным на картах или фотосхемах, иногда проводятся одновременно с аэрофотосъемкой и часто сопровождаются перспективной съемкой любительской камерой. Наблюдаемые объекты наносятся на карты (снимки) кодовыми обозначениями [38].

При наблюдениях из космоса скорость перемещения космического корабля (8 км/с) резко ограничивает время разового наблюдения, но позволяет повторить наблюдение через неболь-

Характеристики основных видов

Вид съемки	Съемочная аппаратура	Масштаб съемки	Разрешение	Область спектра
Визуальное обследование	—	—	—	0,38—0,76 мкм
Аэрофотосъемка:				
обычная черно-белая	Аэрофотоаппараты (АФА) с различными фокусными расстояниями	1 : 2000—1 : 100 000	15—60 лин./мм	0,38—0,76 мкм
спектрозональная	Аэрофотоаппараты (АФА) с различными фокусными расстояниями и различными светофильтрами	1 : 2000—1 : 100 000	15—60 лин./мм	0,38—0,76 мкм
цветная	АФА	1 : 2000—1 : 100 000	15—30 лин./мм	0,38—0,76 мкм
многозональная	МКФ-6 (многозональная камера)	1 : 2000—1 : 100 000	60—120 лин./мм	1-й кан. (0,46—0,50) 2-й кан. (0,52—0,56) 3-й кан. (0,58—0,62) 4-й кан. (0,64—0,68) 5-й кан. (0,70—0,74) 6-й кан. (0,78—0,86) мкм
Космическая фотосъемка (в том числе спектрозональная, цветная, многозональная)	АФА-МИИГАиК ЛКС КАТЭ-140 АФА-БАЗК МКФ-6	1 : 7 000 000 1 : 5 000 000 1 : 2 500 000 1 : 1 000 000 1 : 2 000 000	15—26 лин./мм 12—17 лин./мм 40 лин./мм 30—60 лин./мм 80—160 лин./мм	0,38—0,86 мкм

Таблица 1

эрокосмических съемок

Чувствительный элемент	Физическая основа метода	Получаемые данные (вид изображения)	Условия применения в зависимости от освещенности и метеорологических условий
Глаз	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца в видимом диапазоне спектра	Записи в дневниках	Дневное время хорошие метеорологические условия
Различные типы пленок	То же	Аэрофотоснимки черно-белые	То же
Специальные типы пленок	„	Аэрофотоснимки спектрозональные	„
То же	„	Аэрофотоснимки цветные	„
„	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца в узких спектральных интервалах (не более шести)	Аэрофотоснимки черно белые в шести спектральных интервалах (каналах)	„
Различные типы пленок, в том числе специальные	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра	Снимки космического фотографирования черно белые, спектрозональные, цветные	„

Вид съемки	Съемочная аппаратура	Масштаб съемки	Разрешение	Область спектра
Космическая сканерная съемка (телевизионная съемка — ТВ)	МСУ-М	1 : 10 000 000	1000 м	Видимая, солнечная ИК, 0,5—1,1 мкм
	МСУ-С	1 : 2 500 000	240 м	То же
	МСУ-Э	1 : 1 600 000	30 м	Видимая, ИК, 0,4—2,4 мкм
	Фрагмент	1 : 500 000	—	0,5—1,1 мкм
Тепловая аэросъемка	Тепловизор «Вулкан»	1 : 2000—1 : 100 000	—	Ближний ИК 3—5, 8—13 мкм
Радиолокационная съемка (РЛ)	Радиолокатор бокового обзора	1 : 200 000	—	1—100 см

шой промежуток времени. Выбор объектов наблюдения ограничен орбитой, которая может проходить вдоль или поперек долин крупных рек. При большой обзорности, высокой разрешающей способности аппаратуры и смене одного региона другим возможно выделение региональных особенностей у рек, видимых с выбранной орбиты [5, 8].

Фотосъемка (аэрофотосъемка — АФС, космическое фотографирование — КФ), проводимая в видимой или ближней инфракрасной части спектра, является универсальным, наиболее используемым и самым доступным методом при русловых исследованиях. Фотоснимки характеризуются высоким уровнем разрешения, геометрической определенностью положения точек, высокой информационной емкостью, определяемой большим числом выделяемых объектов, объективностью и однозначностью их воспроизведения.

К основным недостаткам фотосъемки можно отнести зависимость качества изображения от метеорологических условий и времени производства съемок [10, 27, 28].

Материалы маршрутной или площадной фотосъемки представляются в виде негативов (фильмов), позитивов — контактных или

Чувствительный элемент	Физическая основа метода	Получаемые данные (вид изображения)	Условия применения в зависимости от освещенности и метеорологических условий
Приемник типа «Видикон» с электронным сканированием (устанавливаемый на спутнике)	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца в широком диапазоне спектра	ТВ-снимки черно белые (четыре канала) Черно-белые (два канала) Черно-белые (восемь каналов) Черно-белые (четыре канала)	Дневное время, хорошие метеорологические условия
Фотосопротивление приемника теплового излучения	Регистрация собственного теплового электромагнитного излучения объектов	Изображения черно-белые	Дневное и ночное время при хороших метеорологических условиях
Радиолокационная антенна	Регистрация отраженного электромагнитного излучения от источника, установленного на борту носителя (самолета, спутника)	То же	Любое время суток, практически при любых метеорологических условиях (кроме грозовых туч)

проекционных (уменьшенных или увеличенных) фотоснимков, фотосхем (маршрутных, площадных, уточненных), фотопланов [28] С полученных фотосхем (фотопланов) путем пересъемки изготавливаются репродукции. Наиболее часто в работе используются контактные отпечатки с размером кадра 18×18 см.

Объективы современных фотоаппаратов обладают высокой разрешающей способностью (разрешающая способность — количество линий, свободно различаемых на участке фокальной плоскости, длиной 1 мм) У современных объективов она достигает 160 лин/мм в центре поля с падением по краям изображения (см табл 1).

Негативы имеют бо́льшую разрешающую способность по отношению к отпечаткам У контактных отпечатков разрешающая способность ниже, хотя они выдерживают 4—5-кратное увеличение с помощью приборов без потери информации. Подобные увеличения применяются при детальном изучении конкретного участка Коэффициент предельного увеличения (фотоувеличения) определяется исходя из размера разрешения зрения (5 лин/мм), графической точности представления (2,5 лин./мм) и размера наименьшего картографического контура (4—9 мм^2) [7].

Из всех материалов фотосъемки наиболее распространенными и используемыми являются фотоснимки с черно-белым изображением.

Цветное фотографирование в значительной мере моделирует физиологический процесс восприятия цвета человеческим глазом. На цветных фотоснимках появляется дополнительный признак дешифрирования — цвет. Методы цветной фотографии основаны на применении многослойных материалов с цветным проявлением как в негативно-позитивном варианте, так и с получением позитивного изображения (слайда), минуя негатив. Цветная съемка не получила широкого распространения вследствие дороговизны и значительного снижения разрешающей способности негативов по сравнению с черно-белыми. Цветные аэропленки имеют низкую чувствительность, что сокращает возможное время съемки и детальность воспроизведения [20].

Материалы ранее выполненных цветных фотосъемок используют при анализе руслового процесса для получения более полных данных о распределении и состоянии растительности на пойме и склонах долины.

Дополнительную информацию для анализа может предоставить *многозональная съемка.* Она позволяет получать серии снимков в нескольких узких зонах (каналах) видимой и ближней инфракрасной (ИК) частей спектра с помощью одной многообъективной фотокамеры или комплекта синхронизированных фотокамер с разными комбинациями фотопленок и светофильтров (см. табл. 1). Анализ многозональных снимков, предусматривающий сравнение и выявление различий в контрастах одних и тех же объектов, лучше всего выполнять на многоканальном синтезирующем приборе МСП-4. С его помощью по зональным черно-белым позитивным и негативным изображениям (на пленке) синтезируются ложноцветные изображения, выбираются наиболее эффектные их комбинации и цветовая гамма [16, 21]. Благодаря пятикратному увеличению и смене цветовых комбинаций на экране усиливается контрастное восприятие. При этом хорошо выделяются: русло с внутрирусловыми образованиями (пляжи, осередки), рисунок строения поверхности поймы, растительность, коренные берега и др.

При покрытии поймы и склонов долины снегом, а русла льдом изображения в четырех сравниваемых каналах (1, 3, 4, 6) одинаковы. Примерно та же картина бывает при отсутствии льда в русле, но наличии снега на островах, пойме и склонах долины. При наличии льда в русле и отсутствии снега на пойме наиболее четко проявляются различия между льдом в русле (белый тон) и пляжами (осередками), имеющими светло-серый тон (в первом канале).

В различных регионах в период полного отсутствия снега на пойме и льда в русле в 1-м канале нет контраста между открытой водной поверхностью и поймой, тон изображения один — темно-серый. Изображение в 3-м и 4-м каналах обладает наилуч-

шей детальностью воспроизведения. В 6-м канале безошибочно выделяются все участки с открытой водной поверхностью, на затопленных поймах резче проявляется гривистый рельеф, безошибочно определяются прорвы в береговых валах и дамбах обвалования. Съемки в 5-м и 6-м каналах рекомендуется использовать для картирования затопленных пойм, для получения снимков мелководных распластанных русел (горная русловая, русловая и склоновая многорукавность). Благодаря высокой разрешающей способности снимки с МКФ-6, полученные в межень в 3-м и 4-м каналах, могут быть использованы для совмещения при определении плановых деформаций на участках рек с незначительными деформациями и при малом интервале между съемками. При дешифрировании предпочтительнее использовать негативы. К существенным недостаткам съемки аппаратом МКФ-6 (самолетный вариант) можно отнести малый размер кадров, т. е. малый захват площади при съемке.

На *спектрозональных фотоснимках*, являющихся разновидностью многозональных фотоснимков, обеспечивается одновременная съемка объектов в двух (трех) различных спектральных зонах и получение на одном негативе двух (трех) разноцветных изображений, обладающих наибольшим цветовым контрастом. На спектрозональных фотоснимках объекты изображены в искаженных (ложных) цветах. В зависимости от спектральных зон эффективной светочувствительности элементарных слоев возможно применение различных негативных аэрофотопленок. Применение спектральных аэрофотопленок СН-6 и СН-6М эффективно для дешифрирования растительности, опознавания увлажненных участков и уточнения границ водных объектов. Подводный рельеф в руслах рек проявляется на аэрофотопленках, реагирующих на желто-зеленые и зеленые лучи [20]. Для распознавания подводного рельефа необходимо проведение съемок в масштабах 1 : 5000—1 : 10 000.

Материалы космического фотографирования имеют высокую разрешающую способность, что позволяет для камерального дешифрирования использовать снимки с увеличением до 8—10* [6, 7, 13]. Полученные путем увеличения снимки сопоставимы с материалами АФС и используются для определения плановых деформаций. При рассмотрении материалов космического фотографирования совместно с материалами аэрофотосъемки они именуются как аэрокосмические материалы крупного (1 : 5000—1 : 50 000), среднего (1 : 50 000—1 : 200 000) и мелкого (мельче 1 : 200 000) масштабов.

Материалы космического фотографирования открыли дополнительные возможности для изучения законов формирования и развития рек. К ним относятся: проверка общности и выявление региональных особенностей типизации речных русел и пойм; однозначное выделение высоких структурных уровней руслового процесса — морфологически однородных участков и водотоков в целом; сравнительный анализ гидрографических элементов

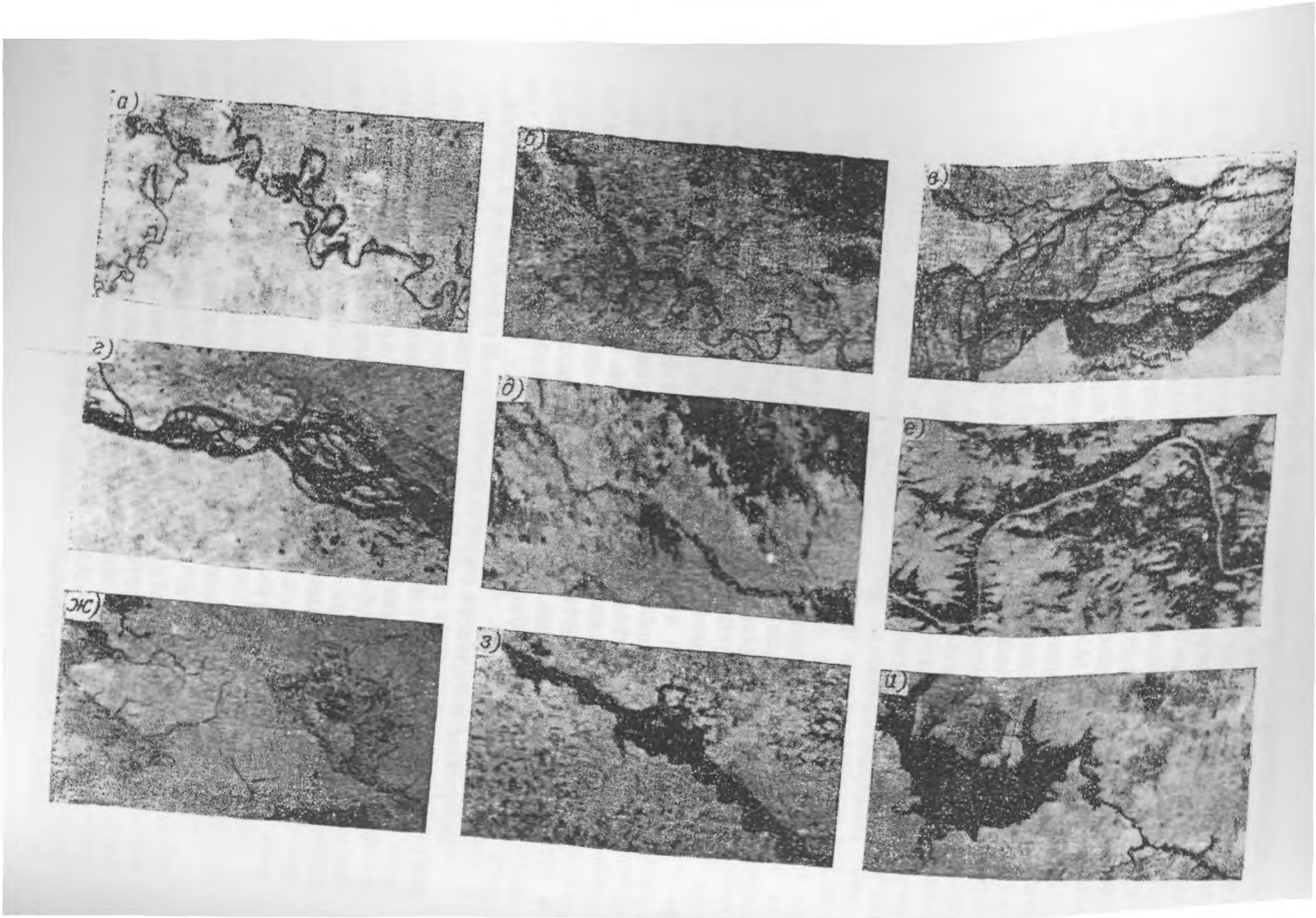


Рис. 1. Телевизионные изображения (МСУ-С) участков рек с разными типами руслового процесса.

а — свободное меандрирование; *б* — незавершенное меандрирование; *в* — пойменная многорукавность; *г* — русловая многорукавность; *д* — горная русловая многорукавность; *е* — вынужденное меандрирование; *ж* — свободно меандрирующие малые реки, видимые в половодье в зоне тундры; *з* — симметричные врезки излучин в коренной берег при ограниченном меандрировании; *и* — водохранилище озерного типа на р. Зее.

разных водосборов и самих водосборов; сравнительный анализ роли рельефа Земли в образовании геоморфологических элементов реки — долины, террас, поймы, русла — и роли последних в формировании типов руслового процесса; уточнение определяющих факторов руслового процесса и их характеристик; выявление картины формирования и движения волны половодья; проведение анализа и контроля трансформации рек под действием антропогенной деятельности в их бассейнах и др.

Телевизионная съемка ведется регулярно с искусственных спутников Земли системы «Метеор» сканирующими устройствами малого (МСУ-М) и среднего (МСУ-С) разрешения (см. табл. 1). Телевизионные снимки используются при выделении границ затопления широких пойм [11].

По телевизионным снимкам с МСУ-С хорошего качества можно опознать некоторые типы руслового процесса на участках крупных и средних рек, например свободное, незавершенное и вынужденное меандрирование, три разновидности многорукавности — пойменную, русловую и горную русловую (рис. 1 *а—е*). Не опознаются ленточно-грядовый и побочневый типы руслового процесса, участки рек с ограниченным меандрированием, наледной и склоновой многорукавностью. Неопознаваемые типы руслового процесса встречаются на участках незначительного протяжения. Определение типов русел на беспойменных и коротких участках рек следует производить по снимкам крупных масштабов [48].

По последовательным снимкам с МСУ-С, полученным с достаточным интервалом времени между ними, можно качественно оценить изменения в русле на участке крупной реки, например Лены, т. е. отметить появление или исчезновение островов и проток. Существенное преимущество телевизионной съемки заключается в возможности регулярного получения информации. Повторим, что синтезирование цветного изображения на МСП-4 улучшает условия дешифрирования и расширяет возможности извлечения информации.

Радиолокационная съемка выполняется радиолокаторами бокового обзора, устанавливаемыми на самолетах и на спутниках и использует радиоволновый диапазон электромагнитного спектра (см. табл. 1). Посланный радиосигнал по нормали отражается от встречающихся на его пути объектов и улавливается специальной антенной, затем фиксируется на фотопленке. Вследствие шероховатости

поверхности отражения часть энергии посланного сигнала рассеивается. Частицы поверхности размером меньше половины длины отраженной волны не дают рассеянного отражения. Поэтому РЛ-съемку можно вести в любое время суток и при любой погоде, ибо облачность (за исключением грозовых туч) и туман не отражаются на качестве изображения. Четкость изображения зависит от степени шероховатости поверхности отражения, геометрии объектов, угла падения луча, степени поляризованности и частоты посланного сигнала, физических свойств поверхности отражения (плотности, влажности и др.). В случае резко расчлененного рельефа часть информации скрыта радарной тенью.

На РЛ-снимках четко выделяются долины, поймы и русла рек, особенно если они приурочены к разломам, трещинам и складкам, выраженным в рельефе. Тон изображения меняется от белого до черного. Черный тон отвечает радарной тени — зонам полного поглощения посланного сигнала и идеально гладкой (нешероховатой для данной длины волны) поверхности, которая при бытовом излучении дает полное отражение, уходящее из зоны приема. Тон одних и тех же поверхностей может меняться в зависимости от направления облучения, времени года и погоды. Открытая водная поверхность (при отсутствии волнения) полностью отражает падающие лучи и дает изображение черного тона [12, 20, 22]. Такое же изображение дают незарастающие песчаные пляжи и осередки, что особенно четко проявляется при сравнении аэрофотоснимка с РЛ-снимком (рис. 2*е*). При русловой многорукавности черный тон изображения русла прерывается на участках островов (рис. 2*з*). Растительность имеет наименьшее экранирующее значение ранней весной. В летний период влияние растительности на тон изображения проявляется наиболее резко. Неровная водная поверхность горных рек, перекатные участки равнинных рек имеют осветленный тон изображения. Тон изображения водной поверхности осветляется на участках горных рек с крупными валунно-галечными отложениями в русле. Тон изображения участков поймы зависит от состава растительности и увлажнения почвы. Увеличение влажности, особенно в весенний период, ведет к ослаблению отраженного рассеянного сигнала. Изображение увлажненных участков имеет темный тон.

Материалы РЛ-съемок рекомендуется использовать одновременно с материалами АФС. Основное применение они нашли при выявлении границ водных объектов, в частности при картировании затопленных пойм.

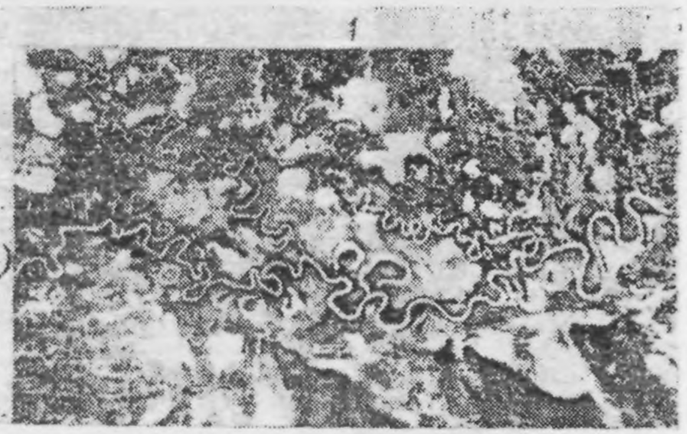
Рис. 2. Плановое (*1*), перспективное (2) и схематичное (*3*) изображения участков рек с разными типами руслового процесса.
а — свободное меандрирование; *б* — незавершенное меандрирование; *в* — пойменная многорукавность.

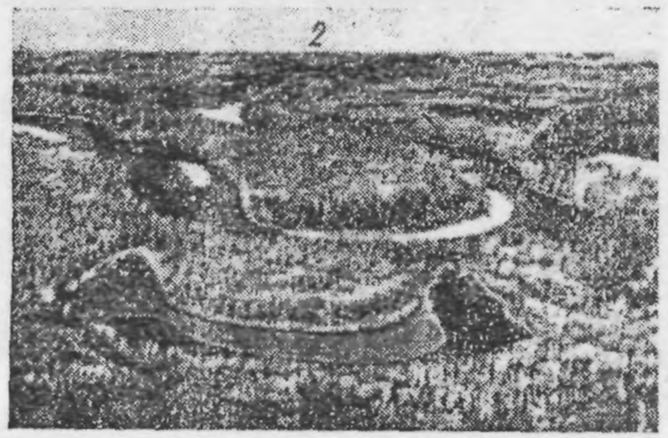
1

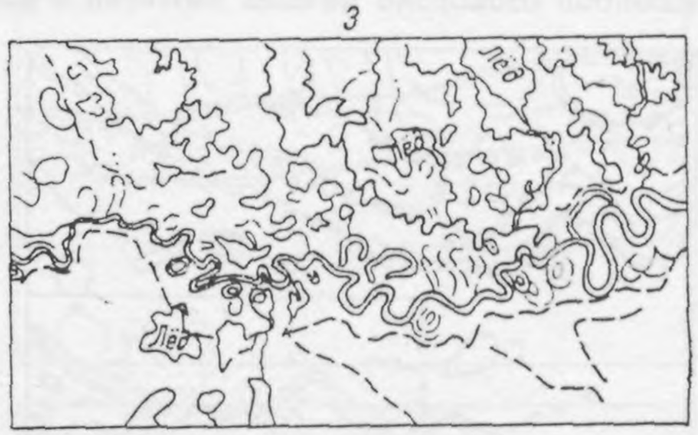
2

3

а)

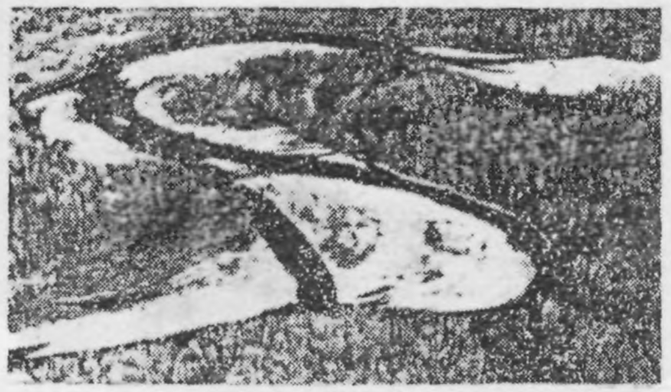






б)







в)







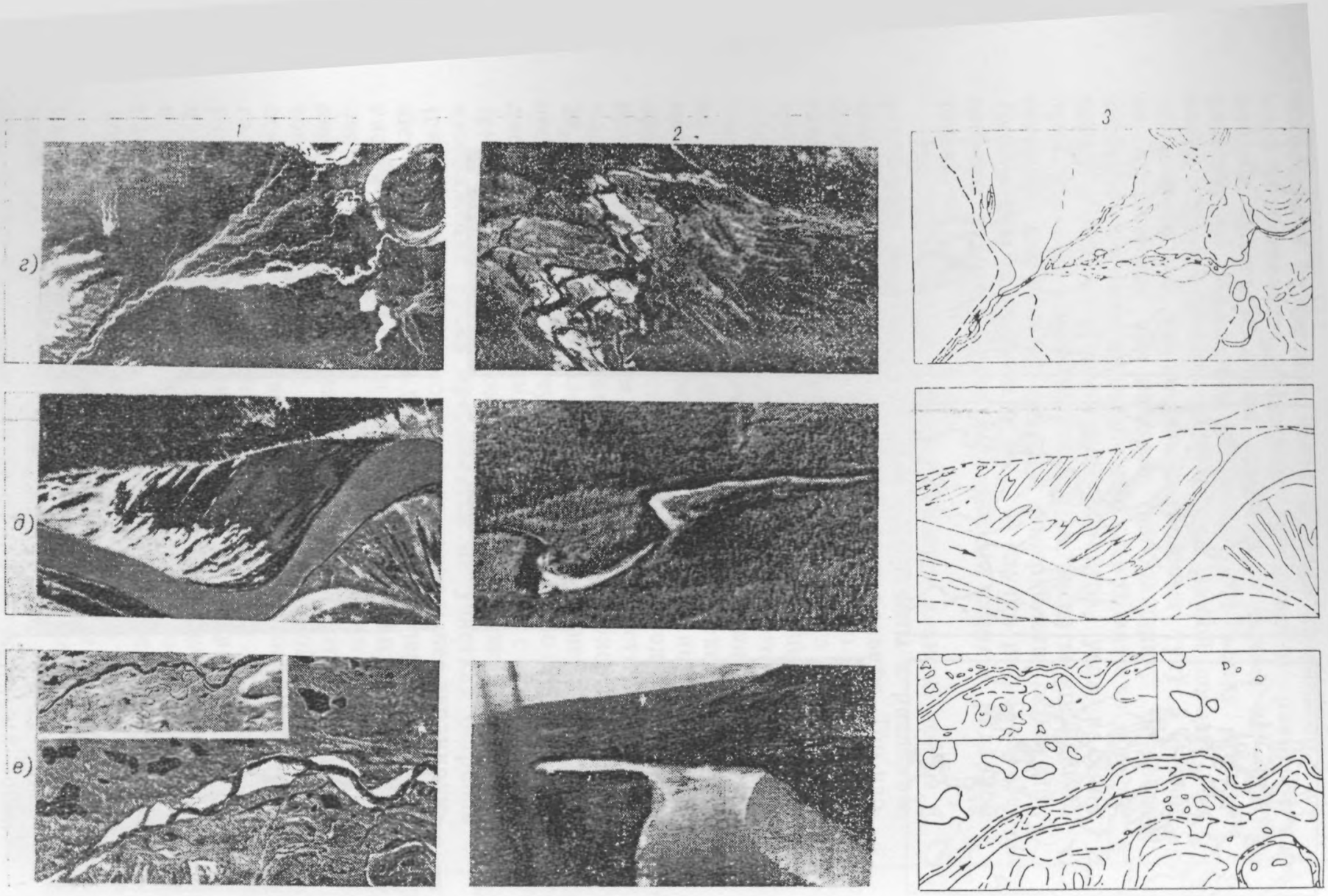


Рис. 2. Плановое (*1*), перспективное (*2*) и схематичное (*3*) изображения участков рек с разными типами руслового процесса.

г — склоновая многорукавность; *д* — ограниченное меандрирование; *е* — побочневый тип, образовавшийся на коротком участке реки после смены участка долины (в более мелком масштабе приводится радиолокационное изображение участка, на котором поверхность воды и песчаные образования — побочни — имеют черный тон);

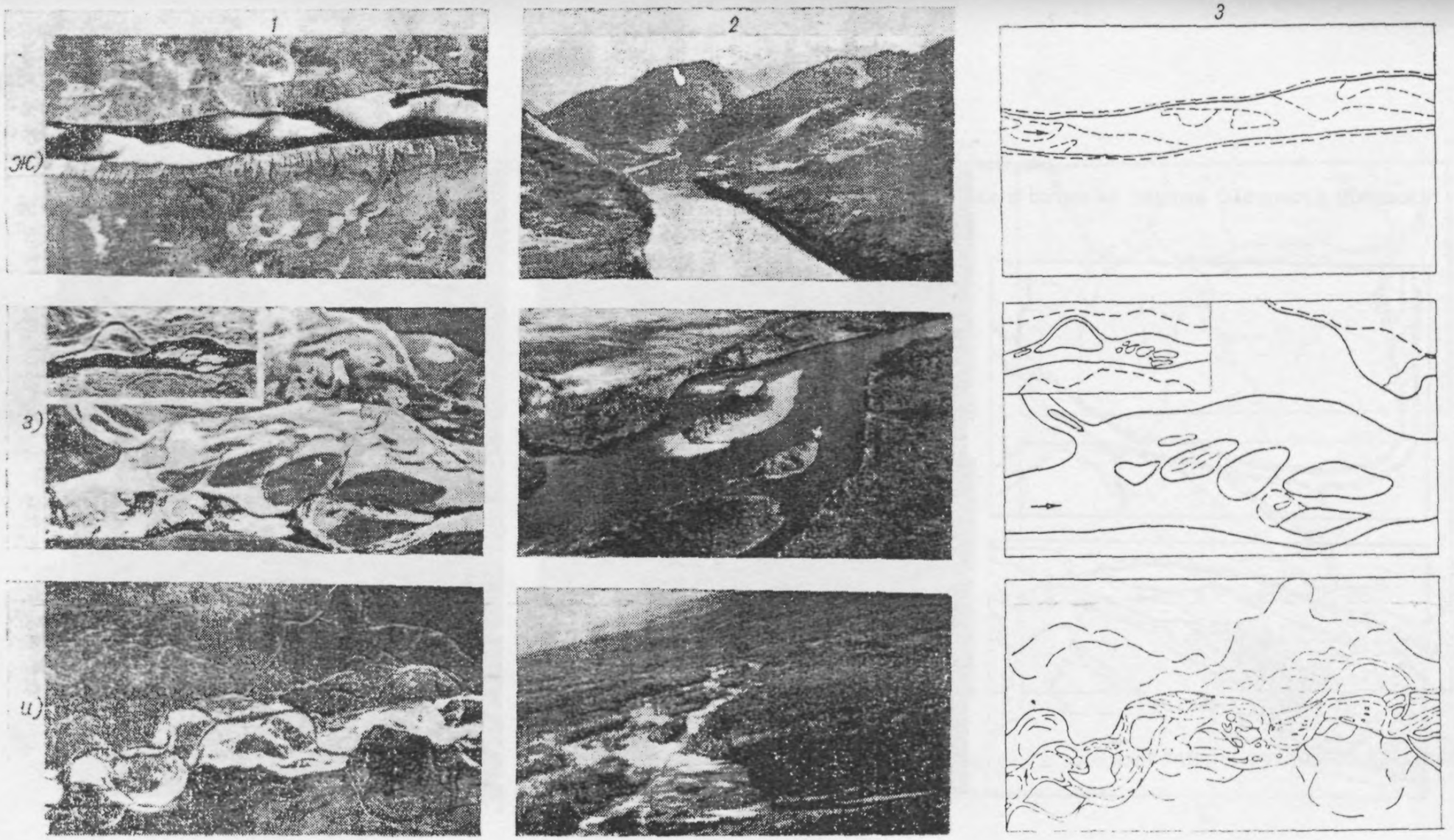


Рис. 2. Плановое (*1*), перспективное (*2*) и схематичное (*3*) изображения участков рек с разными типами руслового процесса.

ж — ленточно-грядовый (переходящий в побочневый) тип; *з* — русловая многорукавность; снимок сделан в ранний весенний период — в русле лед, приводится радиолокационное изображение участка; *и* — горная русловая многорукавность;

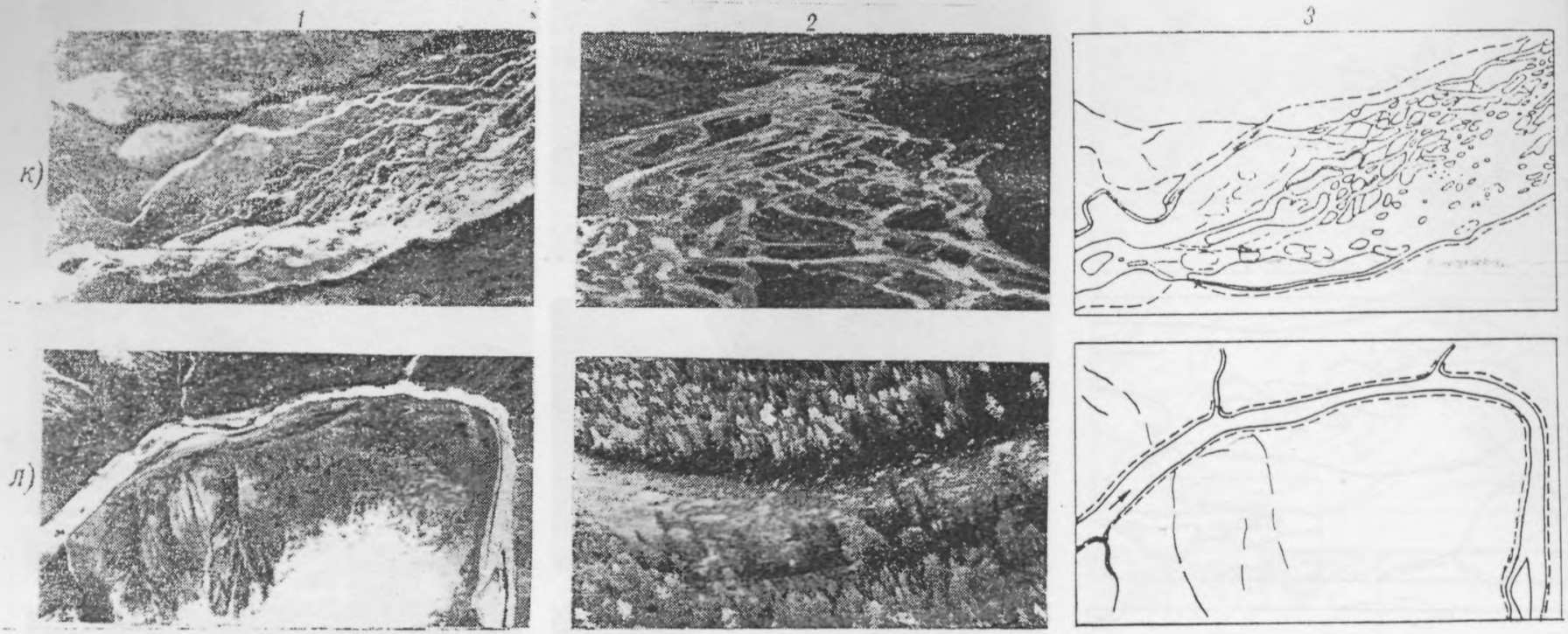


Рис. 2. Плановое (*1*), перспективное (*2*) и схематичное (*3*) изображения участков рек с разными типами руслового процесса.

к — наледная многорукавность; *л* — вынужденное меандрирование;

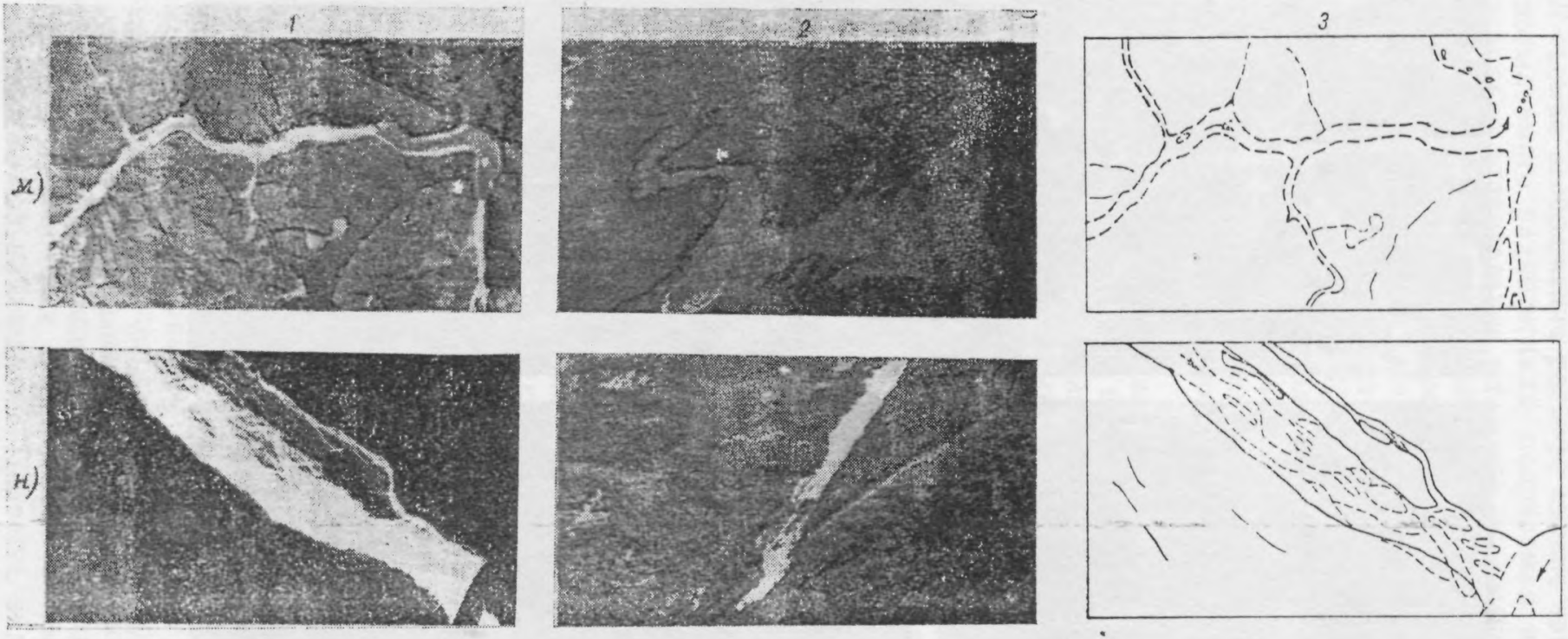


Рис. 2. Плановое (*1*), перспективное (*2*) и схематичное (*3*) изображения участков рек с разными типами руслового процесса.
м — сток по мари (долина-марь); *н* — русло, по которому периодически сходят сели.

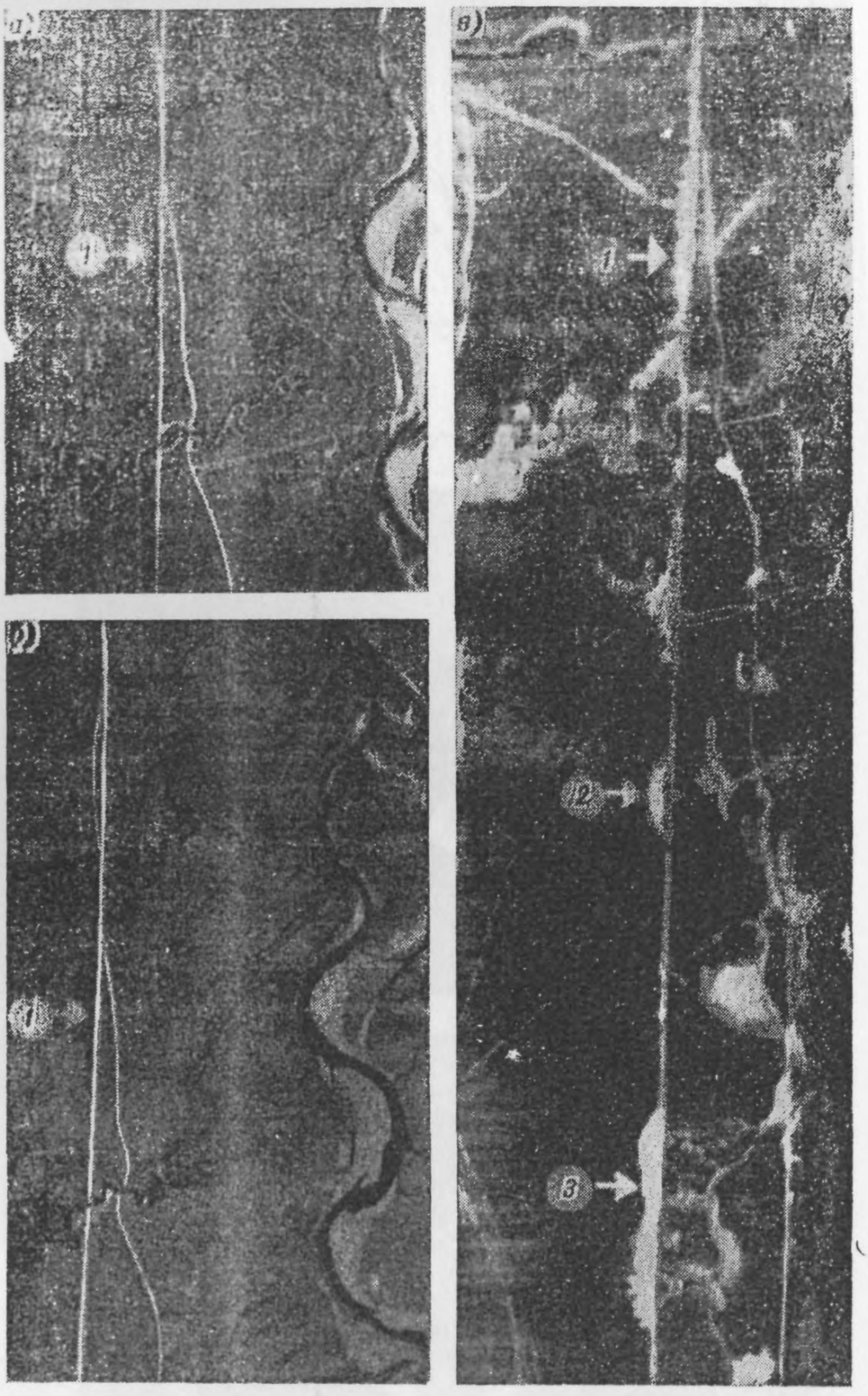


Рис. 3. Аэрофотоснимок (*а*), дневной (*б*) и ночной (*в*) тепловые аэроснимки.

1, 2, 3 — места подтопления трассы [53].

При РЛ-съемке изображение рельефа сильно зависит от ориентировки посылаемого радиосигнала, получаемая информация часто имеет довольно значительное плановое искажение, затрудняющее ее привязку к картографической основе. Эта съемка отличается также относительно низким разрешением [12, 20, 22].

Инфракрасная тепловая съемка основана на использовании изображения, полученного в среднем и начале дальнего диапазонов спектра ИК-излучения (см. табл. 1). Для регистрации ИК-излучения используются тепловизоры типа «Вулкан» с двумя диапазонами съемки (3—5; 8—13 мкм), преобразующие невидимое ИК-излучение в видимое на электронно-лучевых трубках. Контрасты дневного теплового аэроснимка близки к контрастам аэрофотоснимка (рис. 3). Картина меняется на ночном снимке, так как переувлажненные места дольше сохраняют тепло. Выделяются на ночном снимке переувлажненные (теплые—светлые) участки поймы, оттеняются границы между разновысокими участками поймы, за счет разности во влажности вырисовывается гривистый рельеф, очень четко вырисовывается понижение на пойме вдоль коренного берега, проявляются все протоки многорукавного русла. Часть проток сохраняет и в ночное время темный (холодный) тон, таким путем выявляются выходы холодных подземных вод, стекающих по этим протокам. Обнаруживаются на ночных снимках засыпанные протоки и ручьи. Сопоставлением аэрофотоснимка с дневным и ночным тепловыми аэрофотоснимками выявляются места подтопления дорожных трасс, образующиеся в случаях перекрытия насыпями стока со склонов долин. На рис. 13 видно, что участки *2* и *3* наиболее опасны с точки зрения возможного повреждения насыпи накапливающейся водой [53].

Тепловая съемка является эффективным методом обнаружения на склонах долин и поймах рек возможных прорв в дамбах, дорожных насыпях, в засыпанных трубопроводах. Для обеспечения полноты анализа тепловая съемка производится многократно. Весь анализ выполняется в качественном виде.

2. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК, КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Возможности использования материалов аэрокосмических съемок при русловых исследованиях очень широки. При одних видах работ они являются основным, а в малоизученных регионах почти единственным источником информации, при других — анализируются в комплексе с картографическими данными и результатами наземных наблюдений. Перечень видов анализа мате-

Таблица 2

Виды анализа руслового процесса при комплексном использовании материалов

Вид анализа	Исходные материалы				
	Виды материалов	Дистанционные материалы		Материалы наземных изысканий	Основные отчетные документы
		рабочий масштаб	вид исполнения		
Типизация руслового процесса: на малых, средних и больших реках	КФ, АФС, карта ТВ АФС, КФ КФ КФ, ТВ	1 : 25 000—1 : 1 000 000 1 : 2 500 000 до 1 : 200 000 до 1 : 1 000 000 до 1 : 2 500 000	Основа — карта-схема, фотосхема, контактная печать	Подтверждение наличия ленточно-грядового и побочневого типов руслового процесса, выявление региональных особенностей	Карты-схемы типов руслового процесса с нанесенными условными обозначениями
Измерение плановых характеристик долины, поймы, русла, русловых форм	АФС, КФ, ТВ, карты	Зависит от размеров реки	Фотоплан, уточненная фотосхема, контактная печать	Высотные характеристики	Таблицы характеристик для гидроморфологических схем
Получение динамики заполнения и опорожнения поймы	ТВ КФ, АФС, РЛ-съемка Аэровизуальные наблюдения	1 : 2 500 000 Крупнее 1 : 2 500 000	Фотосхема, контактная печать	Данные об уровенном режиме, отметки выхода воды на пойме	Сопоставленные карты-схемы последовательности процесса
Определение плановых деформаций	АФС, КФ — две и более последовательные съемки, карты топографиче-	Зависит от скорости плановых деформаций и интервала между съемками	Фотоплан, уточненная фотосхема, контактная и проекционная печать	Гранулометрия, высотные и плановые измерения	Совмещенные схемы участков рек с указанием скорости размыва и намыва

	ские и лоцманские				(м/год), сопоставленные схемы
Измерение поверхностных скоростей течения	АФС, карта, топографический план	1 : 5000—1 : 10 000	Негатив	Поперечные профили по створам, данные об уровенном режиме	Планы поверхностных скоростей течения, расходы воды
Создание основы для наземных и аэровизуальных обследований	АФС КФ	1 : 5000 1 : 60 000—1 : 200 000	Фотоплан, фотосхема маршрута, набор контактных отпечатков	Результаты дешифрирования снимков, выполненные измерения с точной привязкой	Гидроморфологические схемы участков рек
Создание основы для лабораторных исследований	АФС, КФ, материалы топографических съемок	1 : 5000—1 : 200 000	Фотоплан, фотосхемы, контактная и проекционная печать	Высотные характеристики, данные о режиме	Результаты лабораторных исследований
Фиксация влияния на русловой процесс хозяйственной деятельности	АФС, КФ, карта	1 : 5000—1 : 200 000	Контактная и проекционная печать		Совмещенные схемы, таблицы, описания, подборка фотоизображений на разных стадиях
Воссоздание истории развития долины, поймы и русла реки	АФС, КФ ТВ	1 : 60 000—1 : 1 000 000 до 1 : 2 500 000	Фотосхемы, контактная и проекционная печать		Материалы описания, фотоизображения участков со следами прадолин и прарек
Составление прогноза переформирований реки	Комплексное использование всех полученных результатов				
Теоретические разработки	Обобщение полученных результатов				

риалов аэрокосмических съемок в комплексе с информацией из других источников приводится в табл. 2. Более подробно методика их использования рассмотрена в самостоятельных разделах.

Однозначное опознание большинства типов русел на участках рек можно выполнить только по аэрокосмическим материалам. Результаты анализа изображаются обычно на карте-схеме, за основу которой берется карта чаще всего масштаба 1 : 2 500 000 [2, 35, 40]. На этой основе (с соответствующей дорисовкой малых рек) создаются серии карт-схем: а) фиксирующих современное состояние рек (фрагмент подобной карты-схемы приведен на вкл. рис. 4); *б*) показывающих изменение типов руслового процесса под влиянием антропогенного воздействия, т. е. восстанавливающих по аэрокосмическим материалам состояние рек до антропогенного вмешательства; в) выявляющих участки рек, подлежащие охране. Применением аэрокосмических материалов обеспечивается объективность, точность и полнота содержания карт-схем. Одновременно с составлением карт-схем дается описание региональных особенностей проявления типов руслового процесса. Для их выявления составитель карты-схемы должен участвовать в полевых (наземных) изысканиях на реках региона и знакомиться с опубликованными работами по региону в смежных областях науки. Подробные карты-схемы для отдельных регионов выполняются в масштабе 1 : 1 000 000. Для обеспечения более полной насыщенности карты-схемы информацией используются материалы аэрокосмических съемок, рабочие масштабы которых в 5—6 раз крупнее масштаба карты-схемы.

Данные об изменении плановых характеристик долин, пойм, русел и русловых форм по длине рек извлекаются с фотопланов, уточненных фотосхем или с контактных отпечатков, масштаб которых уточняется по картам. Одновременно с измерением плановых характеристик высказываются предположения о причинах изменений, обусловливающих переход от одного типа руслового процесса к другому. Для обеспечения полноты анализа выявленных изменений морфологических характеристик привлекаются данные о высотных характеристиках тех же морфологических образований, устанавливаемые по картам и при наземном обследовании.

Динамика заполнения и опорожнения пойм на таких крупных реках, как Обь, Волга, Амур, может быть выявлена по ТВ-снимкам среднего разрешения — МСУ-С. В случае недостаточного количества снимков к анализу привлекаются ТВ-снимки малого разрешения — МСУ-М. Контуры разливов по тем и другим снимкам в общем совпадают, но детальность изображения внутри этих контуров неравноценна [11]. При дешифрировании используются данные об уровенном режиме, гидроморфологическое описание участка реки, подробные сведения о пойме, различные карты. В некоторых регионах ко времени паводка почти всегда приурочена сплошная облачность и летно-съемочные работы не выпол-

няются. В этом случае хорошие материалы по затоплению пойм можно получить с помощью радиолокационной съемки.

При определении плановых деформаций (скорости размыва и намыва) подбираются материалы многократных последовательных аэрокосмических фотосъемок (рис. 5).

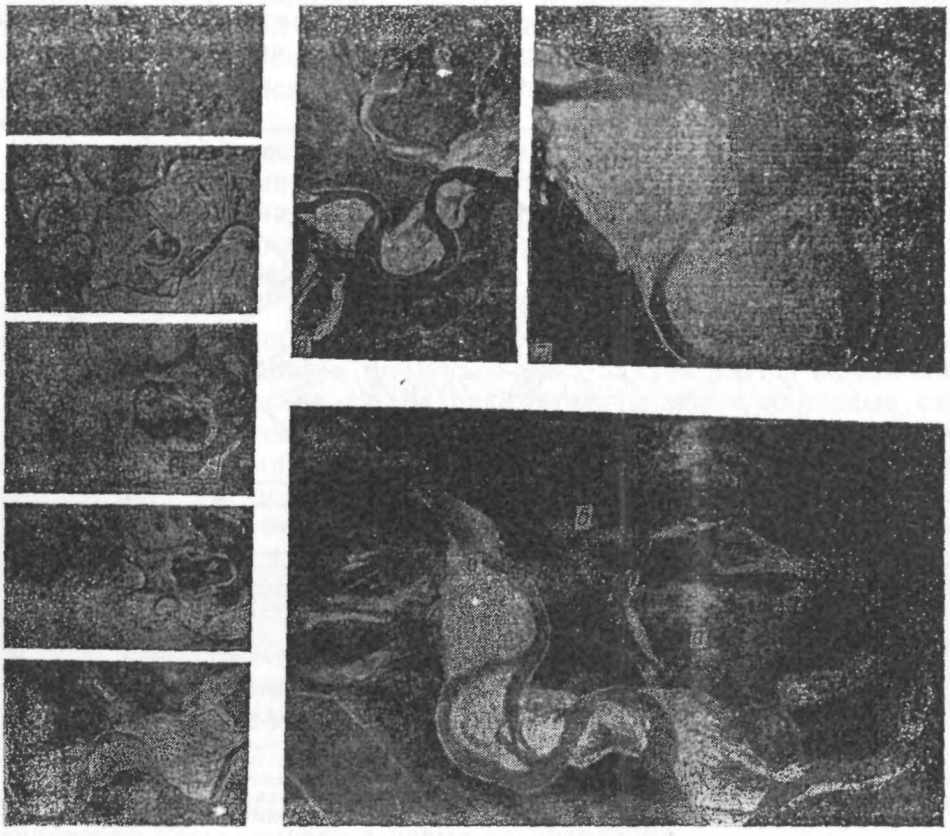


Рис. 5. Фрагменты аэрофотоснимков участка реки разных масштабов, дат съемки, различного качества исполнения, использованные для совмещения при определении плановых деформаций (данные о масштабах и датах съемки приведены в табл. 5).

а — пойма; б — коренной берег; в — русло с пляжами и осередками.

Полученные разновременные фотоснимки (с достаточным временны́м интервалом) приводятся к одному масштабу, совмещаются, и на совмещенных схемах выявляются смещения контуров. Это позволяет вычислить плановые деформации — максимальные значения смещений в метрах в год (рис. 6). При отсутствии материалов ранних фотосъемок для получения приближенных данных об изменениях русла и поймы реки материалы аэрокосмических съемок совмещаются со старыми топографическими и лоцманскими картами.

При анализе руслового процесса используются также данные, полученные с помощью аэрогидрометрии [30, 31, 54]. Особую ценность представляют планы течений на пойме, полученные во время паводков редкой повторяемости.

При проведении наземных и аэровизуальных обследований в качестве картографической основы могут быть использованы материалы аэрокосмических съемок, представленные в виде фотопланов, фотосхем маршрутов, набора контактных отпечатков, масштаб которых определяется целями выполняемых работ. К ним привязываются все точки и створы выполненных гидро-

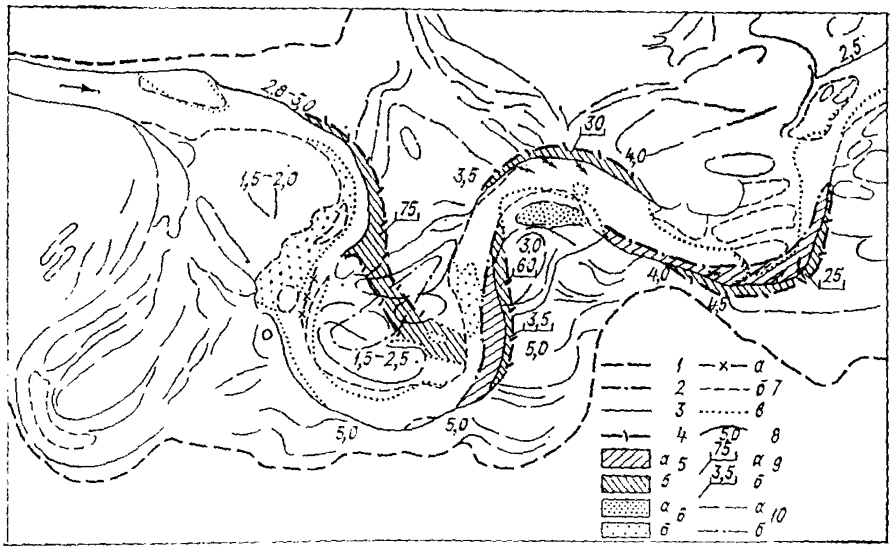


Рис. 6. Совмещенные схемы, полученные с аэрофотоснимков участка реки.

1 — линия коренного берега; *2, 3, 4* — линии обрушаемого берега и границы растительного покрова на пляжах соответственно за 1948, 1976 и 1981 гг.; *5* — зона размыва; *6* — зона намыва; *7* (*а, б, в*) — урез воды, соответственно за 1948, 1976 и 1981 гг.; *8* — высота берега над меженным уровнем, м; *9* (*а, б*) — максимальное значение смещения линии обрушаемого берега, соответственно в метрах за паводок и за год (осредненное за период между съемками); *10* — характерные линии на пойме.

метрических измерений. В результате подобных обследований получают данные для составления обзорных гидроморфологических схем участка в виде планов и продольного профиля (см. рис. 7, 8 на вкл.). Фотопланы крупного масштаба из-за сложности их изготовления применяются для изучения небольших участков рек. На них с достаточной точностью наносятся все точки и линии измерений в русле и на берегу.

При лабораторных исследованиях в качестве основы для строительства моделей можно использовать аэрокосмические материалы. На них более подробно отражается ситуация на тот момент, который хотят отразить в модели. Масштаб используемых материалов определяется в зависимости от масштаба модели.

На аэрокосмических снимках фиксируются все изменения, происходящие в долинах, поймах и руслах рек. Последовательными

съемками хорошо выявляется перестройка рек под влиянием хозяйственной деятельности, документально подтверждаются все стадии развития этих влияний. При анализе всех имеющихся материалов выявляется причина происшедших изменений.

Воссозданию истории развития реки, ее долины, поймы и русла предшествуют обширные региональные исследования. При подобных исследованиях создаются подборки материалов. В них входят и аэрокосмические материалы от самых мелких до самых крупных масштабов, разнообразные карты, гидроморфологические схемы и описания, опубликованные материалы в смежных областях науки.

По аэрокосмическим материалам мелких масштабов решаются вопросы о строении котловины, долины, определяются типы руслового процесса на крупных и средних реках; при привлечении материалов средних масштабов выявляются границы рыхлых отложений в днищах котловин, высказываются предположения об их происхождении. При использовании всей подборки материалов выполняется подробный гидроморфологический анализ руслового процесса от верховьев до устьев рек; составляются подробные гидроморфологические схемы рек; вычерчиваются плановые схематические изображения участков рек с нанесенными на них результатами наземных обследований, анализируются изменения ширины долины, поймы, русла в пространстве и во времени, устанавливаются участки с разными скоростями и глубинами потока, уклонами долины и русла. После анализа всех материалов высказываются предположения об истории развития реки (долины, поймы, русла).

Прогноз переформирований на участке составляется на основе воссозданной истории развития реки с привлечением данных о скоростях современных плановых деформаций русел на участках значительного протяжения. При прогнозировании учитывается возможность повторения катастрофических явлений, следы которых были выявлены на аэрокосмических снимках, и ориентировочно рассчитывается время их появления.

Информация, извлеченная из аэрокосмических материалов и представленная в форме графиков, таблиц, расчетов, схем, картсхем, подробных описаний и др. может служить основой для важных теоретических обобщений и расчетов.

3. ОПОЗНАНИЕ (ДЕШИФРИРОВАНИЕ) ТИПОВ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

3.1. Общие сведения о дешифрировании

Дешифрирование — сложный творческий процесс, требующий от дешифровщика определенных навыков. Начинать дешифрирование следует с крупномасштабных аэрофотоснимков при исполь-

зовании их во время полевых изысканий и аэровизуальных обследований. Существенную помощь при дешифрировании оказывает топографическая карта, так как она представляет собой результат географического дешифрирования.

Для выполнения дешифрирования необходимо иметь элементарные знания о процессах фотосъемки и обработки, материалов съемки, о возможностях использования материалов тех или других видов съемок и быть специалистом в области русловых процессов [1, 4, 16, 17, 42].

Дешифрирование — многоэтапный процесс, при котором приходится неоднократно обращаться в процессе работы к подборке материалов разновременных и разномасштабных съемок. По материалам, полученным в разные годы и сезоны, рассматривается не отдельный участок русла, а участок реки значительного протяжения с ее поймой и долиной. Дешифрирование выполняется визуальным путем с использованием луп и стереоскопов. Методы автоматизированного дешифрирования, например, для опознания типов руслового процесса пока не разработаны.

Для повышения точности, детальности и достоверности дешифрирования при картографировании используются стереофотограмметрические приборы [28]. Перенос отдешифрированных данных на основу осуществляется с помощью различных трансформирующих аппаратов, например фототрансформатора (ФТБ) и универсального топопроектора (УТП). Дешифрирование многозональных снимков выполняется с помощью синтезатора изображений МСП-4.

Дешифрирование аэрокосмических снимков должно проверяться результатами наземных изысканий. Наземные работы на небольшом участке реки являются «ключом» к выполнению дешифрирования на участках реки значительного протяжения [1, 32, 42]. Они позволяют подтвердить достоверность предварительного дешифрирования, в частности опознания типов руслового процесса.

Одновременно с дешифрированием снимков необходимо приступить к изучению литературных и картографических материалов.

Сложный процесс дешифрирования для удобства разделяется на этапы.

Первый этап — обнаружение русла с его внутрирусловыми образованиями, выделение поймы и долины.

Второй этап — опознание типа руслового процесса. Тип русла сначала угадывается, затем выделяются признаки того или другого типа, далее признаки группируются и опознается тип руслового процесса. У опытных дешифровщиков эти моменты сливаются.

Третий этап — анализ руслового процесса на участке реки. Если при опознании типа руслового процесса основная роль принадлежит *прямым* демаскирующим признакам, то при анализе используются и *косвенные* признаки.

К прямым демаскирующим признакам относятся: тон (или цвет), тень, размер и форма объектов [42].

Тон фотоизображения определяется атмосферно-оптическими условиями съемки (состояние атмосферы, освещенность местности, отражающаяся способность объектов), свойствами фотоматериалов и режимом фотообработки. Факторы эти изменчивы, и поэтому тон изображения сам по себе не может служить надежным признаком дешифрирования.

На черно-белых фотоснимках выделяются шесть тонов изображения: белый, почти белый, светло-серый, серый, темно-серый, черный. Цвет выступает как прямой (или условный) признак в зависимости от изображения в натуральных или ложных цветах.

Наличие теней позволяет определить направление долины и получить общее представление о рельефе местности даже без стереоскопа. Расположение теней на изображении в горных районах зависит от времени съемки.

Размеры объекта учитываются при распознавании типов русел и использовании снимков для получения количественных данных. Благодаря высокой разрешающей способности фотоснимков, можно использовать предельные увеличения размеров объектов для улучшения условий их дешифрирования.

Форма изображения является основным прямым признаком дешифрирования. Именно в контурах объекта заключена основная часть информации, так как главными элементами зрительного восприятия являются линии и контуры, а не площади, заключенные в них [42].

Опознание типов русел выполняется по комплексным признакам, представляющим собой сочетание прямых признаков, которое создает *рисунок изображения.*

Рисунком передается структура всей системы, образовавшейся при том или другом типе руслового процесса. По характерным рисункам типы руслового процесса непосредственно опознаются на снимках.

Передаваемая рисунком структура природного комплекса связана, с одной стороны, с генезисом системы, с другой — ее функционированием. Классификация рисунков строится на морфогенетическом принципе [42]. В структуре фотоизображения отражаются внутренние связи между руслоформирующими факторами: стоком воды, стоком наносов и ограничивающими условиями. Рисунок изображения зависит от условий, сезона, масштаба и характера технических средств съемки.

Условия дешифрирования различны на крупномасштабных и мелкомасштабных снимках. При уменьшении масштаба съемки происходит генерализация изображения, что особенно проявляется на космических снимках. Особенно чувствительны к уменьшению масштаба внутрирусловые формы (пляжи, осередки), хотя ширина (длина) их сонзмерима с шириной выделяемого русла. С уменьшением масштаба исчезает изображение гривистого рельефа на пойме, но начинают проявляться линии корен-

ных берегов, т. е. исчезают детали русла и поймы, а на первый план выступает строение всей поймы, долины (котловины).

В качестве примера по дешифрированию рассматривается участок, на котором река свободно меандрирует на широкой пойме; четыре следующие одна за другой излучины находятся примерно на одной стадии развития (см. рис. 5). При анализе снимков разновременных и разномасштабных съемок выявляется, что изображение участка реки зависит от масштаба, сезона и качества исполнения съемки. На снимках средних масштабов (*1—4*) в разные сезоны по-разному проявляются пойма со старицами и следами древних спрямлений излучин (*а*), коренные берега (*б*), выделяется русло с пляжами и осередками (*в*), растительный покров. На снимках крупных масштабов (*6—8*) изображен значительно меньший по площади участок поймы и русла. На этих снимках просматриваются детали строения русла и поймы: в русле на участках перекатов просматривается дно (*6*), на поверхности зарастающего пляжа и на пойме выделяются участки с древесной и кустарниковой растительностью (*7*), и не столько по разности тонов изображения, сколько по прямому выделению четко видимых крон деревьев. Значительна разница в изображениях в разные сезоны года. В весенний период (*3*) в русле еще сохранился лед, не везде проявляется линия уреза, общим белым тоном выделяются границы паводочного русла (за исключением полосок открытой водной поверхности); на пойме четко видны только старицы, покрытые льдом. После стаивания льда (*6, 8*) белым тоном выделяются все песчаные образования — пляжи, осередки, выносы песка на пойму. В этот весенний период резкой разницы в изображении растительности на пойме и на склонах долины нет. На снимках, полученных в летний период (*4, 5, 7*), наиболее резко очерчиваются границы между растительностью на пойме и песчаными образованиями в русле, проявляются линии бровок склонов долины за счет разницы в изображении лиственных деревьев и кустарников на пойме (темно-серый тон) и разреженных сосновых боров без подлеска на песчаных почвах склонов долины (светло-серый тон); растительностью маскируется рисунок рельефа поймы.

Все мелкие детали рельефа на пойме проявляются наиболее четко в осенний период (*2*). В этот период, когда лиственные деревья и кустарники сбросили листву, пойма приобретает светло-серый, местами почти белый тон изображения, поэтому исчезает граница между пляжами и заросшими участками поймы. Снимки, полученные в этот период, нельзя использовать для выделения зон намыва.

При дешифрировании следует иметь в виду, что вуалирующее влияние на комплексные признаки оказывает хозяйственная деятельность, в результате которой меняется первоначальный облик долин, пойм, русел [9, 45]. После строительства объектов (населенных пунктов, промышленных предприятий, карьеров, дорог, сельскохозяйственных угодий и др.), торфоразработок, вырубок

леса, пожаров на склонах долин и поймах, часто происходит перестройка определяющих факторов и, как следствие, может измениться даже тип руслового процесса.

3.2. Дешифрирование типов руслового процесса

При анализе руслового процесса используются все имеющиеся материалы съемок, но предпочтительнее привлекать материалы съемок, выполненных в низкую межень и в периоды с наибольшими контрастами между руслом, поймой и склонами долины. Круг данных об участке реки расширяется при одновременном дешифрировании резко различных разномасштабных изображений в летнюю межень (чаще всего оптимальный вариант), в паводок, в весенний, осенний и даже зимний периоды.

Каждый тип руслового процесса формируется при закономерном сочетании определяющих факторов: ограничивающих условий, стока воды и наносов. Специфика этих сочетаний отражается в строении долины, поймы, русла. Особенности каждого типа изображаются на аэрокосмических снимках и выявляются с помощью характерных комплексных признаков, выделяемых непосредственно по снимкам, проще или сложнее в зависимости от масштаба снимков, уровня воды и фенологической фазы растительного покрова. Основной комплексный признак при выделении типа руслового процесса — это рисунок русла и поймы, на котором относительно неизменна форма объекта и значительно изменяется во времени тон отдельных частей изображения: открытой водной поверхности, внутрирусловых морфологических образований, растительности.

Схемы деформаций русел равнинных рек, согласно гидроморфологической теории руслового процесса ГГИ, подразделяются на семь типов: свободное меандрирование, незавершенное меандрирование, пойменная многорукавность, ограниченное меандрирование, побочневый тип, русловая многорукавность, ленточногрядовый тип [23, 44].

В горных районах выделены и другие типы — схемы развития деформаций речных русел: горная русловая многорукавность и вынужденное меандрирование [24, 25]. В горных районах зоны многолетней мерзлоты дополнительно выявлены следующие типы: наледная многорукавность; склоновая многорукавность; сток по мари (долины-мари); русла, по которым периодически проходят сели [37, 40, 41, 47. 49].

Границы опознания типов русел на снимках рабочих масштабов различны для всех типов руслового процесса (рабочий масштаб — это масштаб контактных или проекционных фотоснимков непосредственно используемых в работе; необходимо иметь в виду, что фотоснимок во многих случаях не имеет той высокой разрешающей способности, которая заложена в негативе). На всех мелкомасштабных снимках основным дешифровочным признаком

опознания типов руслового процесса является рисунок русла. Долина, пойма, пояс меандрирования выделяются после опознания русла.

Выделение границ поймы в меженный период затруднено при всех типах руслового процесса [56]. Четко проявляются границы

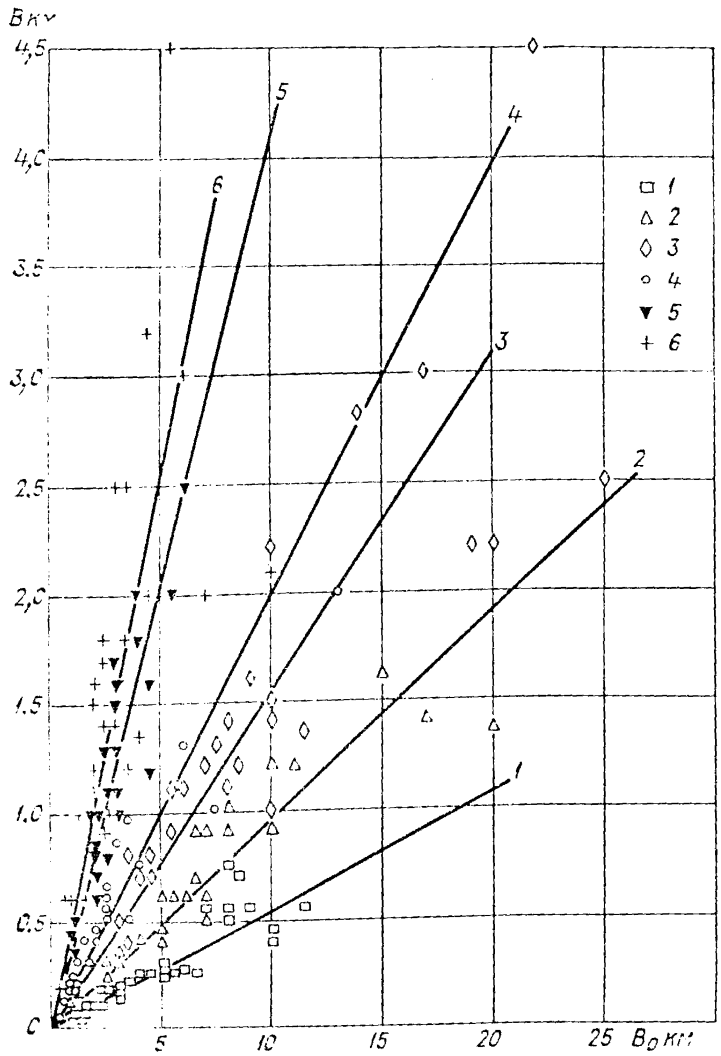


Рис. 9. Распределение типов руслового процесса в зависимости от ширины русла реки B и ширины дна долины B_0.

1 — свободное меандрирование; *2* — незавершенное меандрирование; *3* — пойменная многорукавность; *4* — ограниченное меандрирование; *5* — побочневый тип; *6* — русловая многорукавность.

поймы в паводок, но часто исчезает рисунок русла — основной дешифровочный признак. Этим еще раз подчеркивается, что дешифрирование — многоэтапный процесс. Как уже упоминалось, при дешифрировании неоднократно используются материалы разновременных и разномасштабных съемок. Таким способом достигается полнота и достоверность извлекаемой со снимков информации. Мезоформы (острова, осередки, пляжи) выделяются в руслах рек в зависимости от их плановых размеров. Гряды

с шагом до 300 м удалось выделить на снимках с рабочим масштабом 1 : 200 000. На снимках более мелких рабочих масштабов в руслах гряды не выделялись.

По картам и материалам аэрокосмических съемок выявлено, что соотношение ширины русла на уровне пойменных бровок B с шириной дна долины B_0 и с шириной пояса руслоформирования $B_{пр}$ в границах активной части поймы, включающей и русло (относительная ширина), различно при разных типах руслового про-

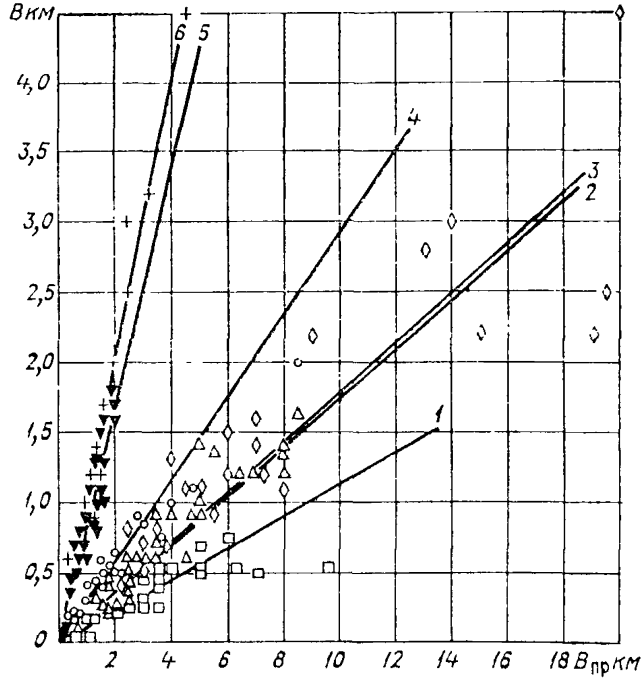


Рис. 10. Распределение типов руслового процесса в зависимости от ширины русла реки B и пояса руслоформирования $B_{пр}$.

Усл. обозначения см. на рис. 9.

цесса [23, 44]. На рис. 9 и 10 каждая ветвь графиков характеризует область существования определенного типа процесса, необходимым условием которого является определенное значение относительной ширины.

При переходе от свободно меандрирующего русла к прямолинейному показатели B_0/B и $B_{пр}/B$ уменьшаются на порядок (табл. 3). Значения показателей B_0/B и $B_{пр}/B$ (их параметры определяются по аэрокосмическим снимкам) являются дополнительным критерием однозначного опознания типов руслового процесса по рисункам изображения.

Для облегчения дешифрирования подобраны наиболее характерные фотоизображения участков рек с разными типами руслового процесса (см. рис. 1 и 2). Большинство типов руслового процесса имеют настолько характерный рисунок русла и поймы, подчеркиваемый контрастом между сушей и водой, что уже по

Таблица 3

Средние значения относительной ширины при разных типах руслового процесса

Тип процесса	B_0/B	$B_{пр}/B$
Свободное меандрирование	18,3	8,9
Незавершенное меандрирование	10,4	5,7
Пойменная многорукавность	6,5	5,6
Ограниченное меандрирование	5,1	3,4
Побочневый тип	2,4	1,2
Русловая многорукавность	1,9	1,0

одному этому признаку они распознаются на аэрокосмических снимках разных масштабов. Само дешифрирование на его первом этапе сводится к поиску на фотоснимках признаков того или иного типа руслового процесса.

Описание морфологических признаков, по которым типы руслового процесса опознаются непосредственно по снимкам, приведено в табл. 4.

Свободное меандрирование на снимках разных масштабов непосредственно опознается по наличию излучин, находящихся на разных стадиях развития (от начальной слабой извилистости русла до конечной стадии развития излучины — петли перед прорывом ее перешейка) и присутствию на широкой пойме ранее спрямленных излучин — стариц [23].

Граница поймы наиболее четко выявляется в паводок, так как при затоплении и переувлажнении пойма выделяется черным или темно-серым тоном изображения при контрасте с более светлыми по тону изображения склонами долины. На мелкомасштабных ТВ снимках в период паводка в зоне тундры (при отсутствии древесной растительности) выявляются малые реки за счет контраста между поймами (серый и темно-серый тон) и водосборами с угнетенной, еще не вегетирующей растительностью (светло-серый тон); просматривается извилистый рисунок краевых участков поймы, создаваемый врезом излучин в склон долины. По наличию этих признаков свободное меандрирование опознается даже на малых реках (рис. 1 *ж*). На ТВ-снимках, полученных в низкую межень в тех же районах, из-за отсутствия тоновых контрастов ни пойма, ни русло даже на средних реках уже не выявляются. По мелкомасштабным снимкам обнаруживается чередование сужений и расширений долин и пойм. Наиболее четко они видны в период паводков и при затоплении речных водохранилищ (см. рис. 1 *и*).

Излучины, их форма с наибольшим контрастом выделяются на снимках разных масштабов в весенний период, когда снег на пойме растаял, а в русле и старицах сохранился лед (рис. 2 *а*). Граница поймы в этот период может быть выявлена при наличии контраста между растительным покровом на пойме (травянистая или кустарниковая) и на склонах долины (темнохвойный древостой). Внутрирусловые образования (пляжи, гряды) скрыты подо льдом. На безлесных поймах рисунок русла четко выделяется и в период, когда русло до бровок заполнено водой — черный тон изображения, а безлесная пойма имеет светло-серый тон (см. рис. 1 *а*).

Анализ обширного материала аэрокосмических съемок позволяет сделать вывод о том, что во всех физико-географических зонах СССР свободно меандрирующее русло легко опознается непосредственно по снимкам, а выявляемые особенности обусловливаются местными геологическими и мерзлотно-геологическими особенностями и интенсивностью экзогенных процессов.

Свободно меандрирующие реки особенно развиты на Западно-Сибирской равнине. Они имеют очень широкие поймы, малые уклоны продольного профиля; долины этих рек заложены в толще легко размываемых осадочных отложений. Многие реки от истоков до устья сохраняют свободно меандрирующее русло.

Развитие излучин на широких поймах проходит определенные циклы. В начальной стадии развития при углах разворота не более 120° излучина сползает вниз по течению. При дальнейшем увеличении угла разворота сползание излучины приостанавливается, но ускоряется ее разворот. Развитие излучины завершается сближением подмываемых берегов выше и ниже расположенных смежных излучин, затем прорывом перешейка, переходом всего потока в прорыв и отмиранием спрямленной излучины [23].

На ТВ-снимках, например, прослеживаются излучины, находящиеся на разных стадиях развития на участках рек Иртыша и Тобола; границы широкой поймы только угадываются по наличию следов стариц; гривистый рельеф поймы не выявляется, так как низка разрешающая способность снимков (см. рис. 1 *а*). Границы поймы можно выделить только по снимкам, полученным в период паводка.

На мелкомасштабных снимках видно, что на реках ЕТС широкие поймы со свободно меандрирующим руслом чередуются с участками сужения долины и поймы. Ярким примером является р. Ока, излучины которой на участках расширения долины при своем развитии проходят полный цикл меандрирования. При недостаточно широкой пойме излучины занимают всю ширину поймы.

На севере СССР в зоне многолетней мерзлоты форма излучин и продолжительность существования гривистого рельефа на широкой пойме зависит от степени ее заболоченности. Для зоны многолетней мерзлоты, особенно для районов тундры, характерна гипертрофированная форма излучин, оплывание грунтов со

Таблица 4

Признаки дешифрирования типов руслового процесса

Тип руслового процесса	Характеристика морфологических образований			
	Долина	Пойма	Русло	Внутрирусловые образования
Свободное меандрирование: циклическое развитие излучин от почти прямых участков до петель в результате размыва вогнутых и намыва выпуклых берегов с последующим их зарастанием. Цикл завершается прорывом перешейка петли русла, затем повторяется	Широкая, с пологими склонами; в межгорных понижениях часто в плане четкообразной формы	Широкая, чаще двусторонняя, с понижением вдоль склонов долины, со следами стариц и с системами вееров перемещения в виде выраженного гривистого рельефа; границы поймы наиболее четко выделяются в паводок	Однорукавное, свободно меандрирующее с наличием излучин, иногда асимметричных, находящихся на разных стадиях развития; на заболоченных поймах возможна гипертрофированная форма излучин	Широкие песчаные пляжи на выпуклых берегах излучин выделяются в межень, в низкую межень просматривается подводный рельеф — перекаты на перегибах русла
Незавершенное меандрирование: развитие излучин по схеме свободного меандрирования прерывается появлением спрямляющего протока, часто на ранних стадиях развития; затем старое русло отмирает, а проток начинает меандрировать	Широкая, низкая	Широкая со слабо выраженным гривистым рельефом, островная	Двухрукавное меандрирующее, излучины часто спрямляются на ранних стадиях развития и имеют разную степень разворота	Широкие песчаные или песчано-галечные пляжи, со следами зарастания, чаще всего асимметричные относительно выпуклого берега
Пойменная многорукавность: развитие сети	Очень широкая, слабо выражен-	Широкая, низкая, глубоко затопляемая с	Многорукавное, разделенное пойменными	В рукавах в низкую межень могут просмат-

спрямляющих и вторичных проток, разделенных пойменными островами (постепенное отмирание и возобновление проток, образование новых)	ная, четкообразная	резко различным по крупности пойменным и русловым аллювием, с различным характером растительности на пойменных и внутрирусловых островах	островами, часто затруднительно выделение главного рукава, возможно развитие рукавов по самостоятельному типу процесса	риваться пляжи, осередки, перекаты, побочни
Склоновая многорукавность: блуждание веера рукавов горной реки по склону ее конуса выноса; расширение веера в многоводные и уменьшение в маловодные годы; характерна для горных притоков главной реки, развивающейся по-иному типу процесса	Отсутствует из-за выклинивания в долину главной реки	Часть поверхности конуса выноса, охваченная веерообразно растекающимся потоком	Многорукавное — веерообразное расположение рукавов, уменьшение их ширины за счет дробления на более мелкие рукава	Осередки, побочни, острова, пляжи в отдельных рукавах
Ограниченное меандрирование: сползание однородных синусоидальных излучин с размывом берегов в верховой части пойменных массивов и образованием береговых валов с низовой	Относительно прямолинейная, часто одинаковой ширины	Пойменные массивы с характерным рисунком старых береговых валов чередуются вдоль долины в шахматном порядке	Однорукавное, слабо меандрирующее, правильно извилистое при неизменной ширине долины; при изменении ширины долины изменяются размеры и форма сползающих излучин	Узкие пляжи у низовых частей пойменных массивов
Побочневый: сползание перекошенных ленточных гряд (только в половодье) по устойчивому в плане руслу	Почти прямолинейная, узкая с крутыми склонами, днищем является русло	Отсутствует	Однорукавное, относительно прямолинейное и устойчивое в плане	Перекошенные ленточные гряды, прибереговые повышенные части которых — побочни, расположены в шахматном порядке

Тип руслового процесса	Характеристика морфологических образований			
	Долина	Пойма	Русло	Внутрирусловые образования
Ленточно-грядовый: сползание по руслу крупных гряд, обычно занимающих всю его ширину	Почти прямолинейная, узкая, с крутыми склонами, днищем является русло	Отсутствует	Однорукавное, относительно прямолинейное и устойчивое в плане	Ленточные гряды, занимающие всю ширину русла, выявляемые при прозрачной воде или промерами в русле
Русловая многорукавность: сползание побочней, осередков, русловых островов в широком распластанном русле	Широкая, чаще четкообразная в плане	Островного типа при сохранении многорукавности в многолетнем цикле, может быть с гривистым рельефом и следами стариц при образовании многорукавности в ранее меандрировавшем русле	Многорукавное, широкое, распластанное, неустойчивое в плане	Побочни, осередки, русловые острова
Горная русловая многорукавность: сползание в паводки побочней, осередков, русловых островов в широком распластанном русле горной реки	Расширение долины горной реки; достаточно широкая и почти равномерной ширины при сохранении многорукавности на участках значительного протяжения	Островного типа, двусторонняя	Многорукавное, распластанное, неустойчивое в плане, входы в малые протоки бывают перекрыты завалами, вниз по течению отдельные протоки увеличивают ширину за счет присоединения мелких проток, урезы воды из-за малых глубин часто не выделяются	Побочни, осередки, русловые острова разнообразной формы
Наледная многорукавность: интенсивная аккумуляция наносов в виде осередков и русловых островов в широком предельно распластанном русле	Четкообразное расширение долины горной или полугорной реки	Часть наледной поляны вне паводочного русла	Многорукавное предельно распластанное русло, имеет сетчатый характерный рисунок на больших наледных полянах, выявляется по мере стаивания	Множество осередков и островов (без древесной растительности) разных размеров, чаще ромбической формы; тоновые различия проявляются после

на наледной поляне (*при резком уменьшении уклонов и увеличении ширины долины*); перемещение в плане зон размыва и намыва (влево или вправо, вверх или вниз), сползание осередков и островов, обрушение коренных берегов при расширении наледной поляны			наледи	стаивания наледи при наступлении вегетации
Вынужденное меандрирование: извилины русла повторяют очертания долины; на участках горных рек транзит наносов чаще всего бесструктурный, возможно перемещение побочней и осередков	Узкая, с крутыми склонами, местами извилистая	На участках расширения долины выявляются зачаточные (остаточные) участки поймы	Однорукавное, повторяющие изгибы долины, занимает всю ширину ее дна	На участках расширения долины выделяются пляжи, осередки (острова), положение их стабильно в плане
Сток по мари	В горных районах долина-марь; не выраженная ясно при исчезновении поверхностного стока на коротком участке	Выровненная, спланированная, без древесной и кустарниковой растительности, формируется в виде маревого потока, обтекающего возвышенные участки и занимающего все дно долины	Отсутствует русло с открытой водной поверхностью, на переходном участке формируется цепочка озеровидных участков с открытой водной поверхностью, переходящей в свободно меандрирующее русло	Не просматриваются
Селевые потоки: стремительное, в основном бесструктурное перемещение больших масс наносов, образование обширных конусов выноса и завалов	Узкая, почти прямолинейная, с крутыми склонами	Обычно отсутствует	Почти прямолинейное, распластанное; в верховьях повторяет изгибы долины, на предустьевом участке блуждает по конусу выноса	Образуются острова при обтекании препятствий

склонов долин, заполнение оплывами стариц (рис. 11 *и*). На некоторых участках свободно меандрирующих рек гривистый рельеф на пойме сохраняется только в период развития излучины и выравнивается сразу после ее отчленения. Старицы, в свою очередь,

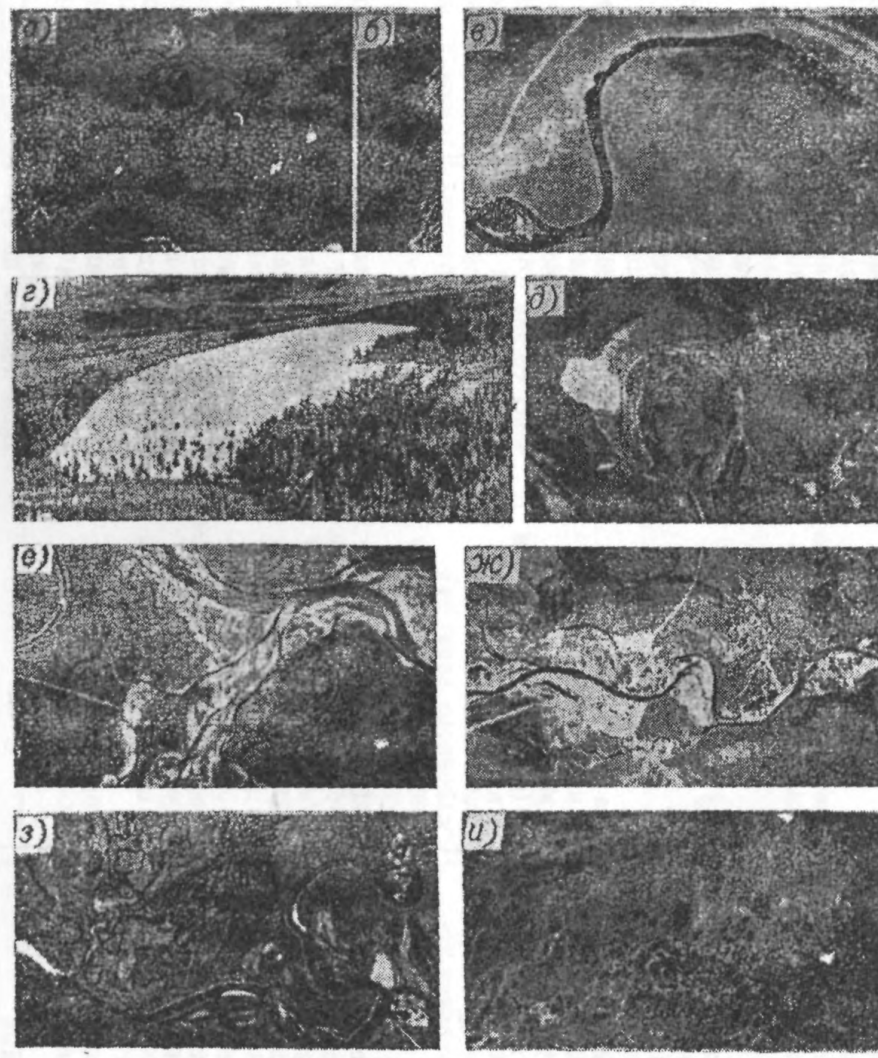


Рис. 11. Фотоизображения участков рек.

а — следы недавнего пожара на склоне котловины; *б* — следы значительных по площади пожаров на ТВ-снимке; *в* — выемка грунта с острова и стеснение русла после отсыпки полотна ж. д.; *г, д* — оголенные пески после небольшого пожара на склоне долины, соответственно, вид на перспективном снимке и на аэрофотоснимке; *е, ж, з* — карьеры в русле и на пойме; *и* — оплывание грунтов со склонов долины на пойму свободно меандрирующей реки.

заполняются оплывами, постепенно исчезают все следы старых положений русла. На других участках выравнивание поверхности поймы идет следом за развивающейся излучиной.

В зоне пустынь при наличии легко обрушаемых берегов в русла рек поступает большое количество песка, из которого

образуются взвешенные и влекомые наносы. В паводок наносы поступают на пойму свободно меандрирующей реки, интенсивно заполняя все пойменные емкости. Быстро нарастают отметки поймы, отмирают старицы. Поток сосредоточивается в однорукавном меандрирующем русле, излучины которого имеют правильную форму [51, 55]. Излучины часто не успевают пройти полный цикл развития, так как русло из-за большого количества наносов оказывается занесенным ими до бровок. Поток прокладывает новое русло по наиболее пониженному участку поймы. На оставленной рекой пойме видны следы как бы одновременного спрямления излучин на участке значительного протяжения. Повышению отметок поймы способствует и поступление песка из пустыни со стороны господствующих ветров. На оставленных рекой поймах, где еще просматриваются контуры сглаженного русла, барханы имеют ту же ориентировку, что и на пространствах вне долины реки. Для рек пустыни характерно уменьшение размеров излучин вплоть до их исчезновения сверху вниз за счет забора воды на орошение и значительного испарения (особенно на устьевых участках при заполнении пойменных емкостей).

В межгорных понижениях на многих реках выделяются участки со свободно меандрирующим руслом, особенно там, где днища котловин заполнены рыхлыми отложениями различного происхождения (морены и конусы выноса рек, отложения озер и праводоемов) (рис. 11 *г*, *д*). Реками перерабатывается толща рыхлых отложений создается широкая пойма [33].

Боковыми притоками выносится значительное количество рыхлого материала, на пойму выдвигаются конусы выноса, сужая ее, иногда полностью перегораживая, сжимая русло, подпруживая реку. Уклоны выше по течению резко выполаживаются. Для межгорных понижений характерно чередование участков с горной русловой многорукавностью и участков со свободным меандрированием. При отсутствии многолетней мерзлоты или наличии редкой очаговой мерзлоты при малых уклонах на широкой незаболоченной пойме образуется четкий рисунок свободно меандрирующего русла с излучинами правильной формы, находящимися на разных стадиях развития, что выявляется по снимкам средних и крупных масштабов.

В межгорных понижениях в зоне многолетней мерзлоты свободное меандрирование встречается на участках с разной степенью заболоченности, где пойменные емкости — старицы заполняются плывущими грунтами, и с поймами, покрытыми густой древесной растительностью, и с заболоченными осоковыми поймами. Выделяются и участки, где реки, подобно рекам пустыни, прокладывают русло в песках. При незначительных уклонах и однородном строении поймы, особенно когда малые реки в качестве долины и поймы используют заросшие русла спрямленных излучин крупной реки, образуются излучины гипертрофированной формы.

В зоне многолетней мерзлоты нарушение поверхности мерзлых пород может привести к изменению слоя сезонного оттаивания, к переходу грунта из мерзлого состояния в талое и обратно. Со слоем сезонного оттаивания связаны в той или иной мере такие процессы, как пучение, солифлюкция, морозобойное растрескивание и т. д.— спутники многолетнемерзлых пород [14, 34]. Каждый из этих процессов может оказать влияние на русловой процесс, особенно на участках со свободно меандрирующим руслом, вызывая отклонения от типичного хода развития излучин, перестраивая рисунок русла и поймы в плане и изменяя темпы русловых деформаций.

При анализе материалов аэрокосмических съемок и данных наземных обследований выявлены также некоторые особенности развития руслового процесса в *зоне с многолетней мерзлотой.* Они заключаются в следующем.

— Выявляются случаи заполнения пойм грунтами, плывущими со склонов долин (см. рис. 11 *и*). Чаще всего первопричиной служит уничтожение растительного покрова на склонах вырубками или пожарами. На оголенных склонах деградирует многолетняя мерзлота, оттаивающие грунты оползают, оплывают, текут, создавая струйчатый рисунок, легко дешифрируемый на снимках [34, 42, 52]. Степень заполнения пойм оплывшими грунтами различна: начальная степень заполнения, когда заполняется только пониженная часть поймы вдоль склонов долины (при этом нарастание отметок приводит к созданию уклона на пойме от склона долины к руслу), и дальнейшее заполнение пойменных емкостей и нарастание отметок поймы за счет активного поступления грунтов со склонов, что приводит к исчезновению поймы, спрямлению русла.

— Просматривается выравнивание и понижение пойменных массивов на участках пойм, где растительный покров полностью уничтожен пожарами. После пожаров возрастает глубина оттаивания мерзлых грунтов, происходит заполнение оплывшими грунтами пойменных емкостей, исчезает гривистый рельеф поймы, пойма понижается за счет заполнения оплывающими грунтами образовавшихся термокарстовых озер и заболачивается. На таких поймах выявляется только травянистая растительность, изредка ерники; восстановления лиственичных лесов не обнаруживается. Подобные участки выделяются даже на мелкомасштабных и радиолокационных снимках по темному, почти черному тону изображения в период переувлажнения и осветленному (светло-серому) тону в низкую межень.

— Выделяется своеобразное обрушение подмываемых берегов русла. Обрушение в форме оползания характерно 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 перегружая русло топляками. Наклоненные деревья и топляки опознаются на крупномасштабных снимках.

При высоте берегов 3,0—4,5 м над меженными уровнями нарушается сцепление в оползающем слое, образуется «мысообразное» оползание. Покрытие берегов растительным слоем, армирование «гребенками» из обрушенных деревьев защищает их от интенсивного размыва. Для определения плановых деформаций на таких участках необходим значительный интервал между последовательными съемками.

— Создается неупорядоченная извилистость линии берегов, искажается форма излучин из-за обнажения старых навалов деревьев. При развитии излучин и переработке пойменных массивов рекой вскрываются на подмываемых берегах старые навалы деревьев, погребенные под слоем наносов и в условиях многолетней мерзлоты сохранявшиеся в течение тысячелетий [14, 34]. Старыми навалами, являющимися на коротком участке ограничивающим фактором, затормаживается процесс меандрирования. Процесс срезки старых навалов очень медленный. Река подмывает берега и они обрушиваются в виде полуцирков до и после навалов, создавая извилистую линию берега, различимую на средне- и крупномасштабных снимках.

— В межгорных понижениях в зоне многолетней мерзлоты часто выявляются одновременные прорывы нескольких излучин.

Иногда река оставляет десятки излучин, изменяя положение русла. На отдельных пойменных массивах обнаруживается периодичность смены положения русла. На снимках средних масштабов видно, что оставленные излучины часто находятся на одной стадии развития (очевидно, последней смене положения русла предшествовало подобное же изменение в далеком прошлом). Можно предполагать, что смена положения русла связана с прохождением паводков редкой повторяемости или с другими катастрофическими явлениями.

Незавершенное меандрирование опознается на снимках по наличию у излучин меандрирующей реки спрямляющих протоков (см. рис. 2*б*). Развивается спрямляющий проток постепенно, что выявляется при сопоставлении снимков последовательных съемок с достаточным временным интервалом между ними. По мере развития спрямляющего протока замедляются плановые деформации основного русла и происходит его отмирание [23].

В межгорных понижениях незавершенное меандрирование приурочено в основном к участкам перехода от горных участков рек к равнинным. На этих участках галечно-валунный материал еще заполняет большую часть поверхности русла и пляжей и по отсутствию грядового рельефа может быть выявлен на крупномасштабных снимках. В нижней части таких участков, в местах

перехода к свободному меандрированию, галька остается только на перекатах и приверхах песчаных пляжей, грядовый рельеф которых виден на снимках. На мелкомасштабных снимках незавершенное меандрирование опознается на крупных и средних реках в период наибольшего контраста между руслом и поймой по наличию излучин, спрямленных на разных стадиях развития (см. рис. 1 *б*). Поймы при незавершенном меандрировании, чаще всего, неравномерной ширины.

В зоне многолетней мерзлоты после уничтожения растительного покрова на склонах по снимкам обнаруживается интенсивное заполнение пойм оплывшими грунтами, приводящее к нарастанию их отметок. На участках с незавершенным меандрированием чаще, чем при других типах руслового процесса, выявляются по крупномасштабным снимкам «провалы», а при наземном обследовании обнаруживаются обнажения погребенных льдов на подмываемых берегах.

Незавершенное меандрирование при наличии широкой поймы может переходить в пойменную многорукавность. Образовавшиеся протоки часто отличаются плановой неустойчивостью. Довольно устойчивы в плане отсеченные при развитии излучин устьевые участки притоков, что подтверждается сопоставлением аэрофотоснимков с достаточным временным интервалом.

Пойменная многорукавность опознается на снимках по наличию многочисленных слабоизвилистых рукавов на широкой пойме (см. рис. 2 *в*). Выделить основной рукав не всегда удается. Острова представляют собой участки поймы и обладают относительной плановой устойчивостью. Отдельные рукава имеют значительную протяженность, ширина рукавов постоянна на всем их протяжении. Участки с пойменной многорукавностью в основном приурочены к устьевым участкам крупных рек и к участкам выхода из узкой долины в широкую.

На мелкомасштабных ТВ-снимках пойменная многорукавность опознается по тем же признакам, которые были приведены выше (рис. 1 *в*).

Склоновая многорукавность опознается по наличию «веера» многорукавного русла на участке выхода горного потока из узкой долины на склон долины главной реки. На этом участке исчезает действие ограничивающего фактора; поток веерообразно растекается по склону, создает конус выноса, сохраняет значительные уклоны (см. рис. 2 *г*). При прохождении селей и при паводках редкой повторяемости поток меняет положение основного русла (блуждание по склону). В многоводные годы веер многорукавного русла «развертывается», в маловодные годы — «свертывается». Выносы селей оседают на конусе выноса. На приустьевых участках конусы выноса выдвигаются на пойму главной реки. Благодаря различиям в тоне изображения на конусе выноса выделяются старые русла, опознаются участки, сложенные из гальки и валунов. На этих, хорошо дренируемых участках часто растут сосновые боры.

Для склоновой многорукавности характерно уменьшение ширины русел вниз по течению из-за дробления их на мельчайшие рукава. На мелкомасштабных снимках этот тип руслового процесса не опознается, так как не виден веер рукавов, хотя конус выноса, созданный рекой, обычно четко оконтуривается на снимках.

Ограниченное меандрирование на меандрирующих реках хорошо выделяется на средне- и крупномасштабных снимках. Основные признаки — наличие нескольких излучин подряд, находящихся на одной стадии развития; ограничение поймы почти параллельно расположенными коренными берегами, бровки которых подчеркнуты различиями в тоне изображения поймы и склонов долины; чередование приуроченных к каждой излучине пойменных массивов, очертания которых составляют нередко почти половину круга и имеют гривистый рельеф [23]. Самый характерный признак — это расположение рисунка гривистого рельефа (см. рис. 2 *д*). Гривы, старые валы на пойме, покрытой растительностью, могут иметь темно-серый или, наоборот, светло-серый тон изображения, а понижения между валами имеют соответственно светлый или темный тон. Контраст в тоне изображения валов и понижений между ними обычно бывает значительным.

Самые длинные гривы, почти огибающие пойменный массив, начинаются с низовой (нарастающей) части массива. Здесь же виден узкий, обычно не выраженный ярко, пляж (белого или светло-серого тона). В верховой части массива видны дуги уже «срезанных» при обрушении берега старых валов. При ограниченном меандрировании по аэрокосмическим снимкам обнаруживается симметричность и упорядоченность рисунка русла и поймы.

На мелкомасштабных снимках ограниченное меандрирование может быть опознано только на крупных реках по наличию симметричных врезок в коренной берег, четко выделяющихся при высоких уровнях воды или при заполнении водохранилищ (см. рис. 1 *з*). При отсутствии таких ярко выраженных врезок этот тип руслового процесса на мелкомасштабных снимках не опознается.

Побочневый тип руслового процесса опознается на средне- и крупномасштабных снимках в низкую межень на относительно прямолинейных беспойменных участках рек по наличию в русле побочней, расположенных в шахматном порядке (см. рис. 2 *е*). Побочни — это перекошенные ленточные гряды, наиболее высокие части которых, расположенные у берегов, обсыхают в межень и на снимках выделяются белым тоном изображения в русле темно-серого или серого тона. Русло, почти прямолинейное в паводок, становится слабоизвилистым в период межени при обтекании потоком побочней [23]. В межень при прозрачной воде и малых глубинах потока на снимках просматриваются подводные части гряд — перекаты, тон изображения которых темнеет по мере увеличения глубины.

Расположенные в шахматном порядке побочни обнаруживаются по снимкам на коротких, почти прямолинейных участках меандрирующих рек, чаще всего там, где русло прижато к коренному берегу и, даже при наличии широкой поймы, сохраняет прямолинейность. Выделяются они и в спрямляющих протоках, и на начальных стадиях развития излучин.

На мелкомасштабных ТВ снимках реки с побочневым типом руслового процесса не опознаются из-за незначительной протяженности морфологически однородных участков, размеры которых близки к разрешающей способности снимков.

На горных и полугорных реках по средне- и крупномасштабным снимкам на участках со слабоизвилистым руслом, зажатым неразмываемыми склонами долины, возможно ошибочное опознание побочневого типа руслового процесса. В таком русле побочни и пляжи, видимые в межень, приурочены к элементам орографии долины (изгибам, выступам и т. д.). Эти побочни и пляжи сохраняют в течение десятилетий свое местоположение и форму (выявляется при совмещении материалов последовательных съемок).

Ленточно-грядовый тип руслового процесса практически не опознается на аэрокосмических снимках. Наличие его можно предполагать на относительно прямолинейных беспойменных и на искусственно созданных канализованных участках рек. Ленточные гряды, как основной признак, могут быть выявлены только при наземном обследовании, так как даже в низкую межень гребни их затоплены. Искривление русла или изменение режима поступления наносов приводит к образованию перекошенных ленточных гряд, т. е. появлению побочней или осередков. Переходная стадия от ленточно-грядового к побочневому типу изображена на рис. 2 *ж*.

Русловая многорукавность опознается по наличию в широком распластанном русле осередков и островов, длина последних часто не превышает ширины русла (см. рис. 2 *з*). Растительный покров на островах и пойме одинаков (один тон изображения). На участке реки значительного протяжения на снимках мелких масштабов просматривается сужение и расширение многорукавного русла и соответственно уменьшение или увеличение количества рукавов и островов (см. рис. 1 *г*). Для русловой многорукавности характерно сохранение ширины рукавов на всем их протяжении.

На ТВ- и РЛ-снимках опознается лишь многорукавность островного типа. Острова, покрытые лесом, выделяются даже в зимний период по разнице в тоновых изображениях — белый тон русла и темно-серый тон изображения островов. На средне- и крупномасштабных снимках в межень в русле просматриваются осередки — обсохшие гребни больших гряд. При изменении соотношения между определяющими факторами, в частности при уменьшении поступления наносов, рукава начинают слабо меандрировать.

Горная русловая многорукавность опознается на средне- и крупномасштабных снимках по наличию в широком распластанном русле горной реки множества островов разного размера и формы (см. рис. 2*и*). Размер и форма островов зависит от многих условий: от расхода воды и наносов, от крупности наносов, от уклона долины на участке, ширины дна долины и др. Наличие множества условий создает разнообразие изображений многорукавного русла.

При горной русловой многорукавности русло разбито на множество иногда слабоизвилистых рукавов, многие из которых в верховой своей части проходят через завалы деревьев и могут быть обнаружены только на крупномасштабных снимках, а в низовой части соединившиеся мелкие протоки выявляются в виде достаточно широких рукавов. Одним из характерных признаков горной русловой многорукавности является увеличение по течению ширины отдельных рукавов за счет присоединения мелких, не видимых на снимках.

На участках рек с горной русловой многорукавностью, даже в зоне многолетней мерзлоты, обнаруживается по снимкам быстрое зарастание осередков, особенно в периоды редкой повторяемости высоких паводков. В зоне многолетней мерзлоты присутствие густой древесной растительности на островах говорит о наличии сквозных таликов под руслами горных рек [14, 34]. При наличии богатой древесной растительности на пойме и значительных скоростей размыва островов с такой же растительностью создаются условия для образования громадных навалов деревьев на приверхах островов и завалов во входах в малые протоки. После пожаров на участках горных и полугорных рек древесная растительность восстанавливается в первую очередь на береговых валах, островах, затем на пойме и склонах долины. При наличии разных по размеру и форме островов, множества слабоизвилистых разной ширины рукавов, образующих врезки в пойму, создается своеобразный волнисто-сетчатый рисунок русла, по которому этот тип руслового процесса опознается даже на мелкомасштабных и радиолокационных снимках (см. рис. 1*д*).

Наледная многорукавность выделяется на наледных полянах горных и полугорных рек и опознается по следующим признакам:

а) по наличию наледи на участке реки в весенний период;

б) по образованию многорукавного русла со множеством осередков и островов, имеющего своеобразный сетчатый (ячеистый) рисунок на снимках крупных наледных полян;

в) по отсутствию древесной растительности на островах, что видно на снимках крупных масштабов. Вегетационный период у карликовой растительности, покрывающей острова, начинается по мере стаивания наледи и легко опознается на снимках при появлении серого и темно-серого тона изображения (см. рис. 2*к*).

Различаются речные наледи, наледи подземных вод и наледи смешанного происхождения [50]. Речная наледь, образующаяся

в русле, заполняет его, часть наледи изливается на пойму. Возникая, например, в меандрирующем русле, она не перестраивает его, т. е. не приводит к образованию наледной многорукавности.

При особых условиях в весенний период речная наледь может работать как плотина, перегородив русло и направив поток в новое русло. Можно предположить, что это одна из причин, приводящих к одновременному спрямлению многих излучин, т. е. к изменению положения русла.

Многорукавное русло обычно образуется при наледях подземных вод и наледях смешанного происхождения. Наледная многорукавность образуется при наличии наледи и при определенном соотношении между уклонами и шириной долины на участках выше наледи и на наледи. По материалам АФС и картографическим материалам для больших наледных полян с ярко выраженной наледной многорукавностью получена связь между отношениями уклонов долины и ширины русла в сужении долины перед наледью (I_1, B_1) и на расширенном участке долины на месте наледи (I_2, B_2) (рис. 12). По кривой видно, что при расширении русла в 5 раз уклоны уменьшаются в 3 раза. Вероятнее всего, что при неизменных уклонах на участке расширения русла наледная многорукавность не образуется, а сохраняется горная русловая многорукавность или незавершенное меандрирование, т. е. наледь еще не оказывает существенного влияния на русловой процесс [49].

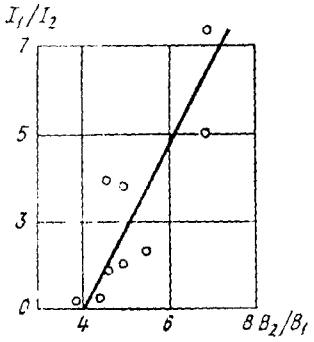


Рис. 12. Связь между относительными величинами уклонов долины и ширины русла перед наледью и на месте наледи (данные по наледям зоны БАМ).

Вынужденное меандрирование (орографическая извилистость), выделенное на равнинных реках по наличию слабоизвилистого русла, зажатого или неразмываемыми склонами долины, или широкими оползнями, на самом деле представляет собой не опознаваемые на снимках ленточно-грядовый и побочневый типы руслового процесса. На таких участках определение типа руслового процесса чаще всего возможно только при наземном обследовании.

Вынужденное меандрирование — это устарелое название типа руслового процесса, выявляемого на верхних и средних участках горных рек с преобладающим влиянием ограничивающего фактора. Ограничивающий фактор здесь целиком определяет характер руслового процесса. В результате бокового ограничения русла, которое легко опознается на снимках, образуются прямолинейные участки или вынужденные горные излучины, следующие изгибам долины. На таких участках иногда видны зачаточные, или остаточные, поймы (см. рис. 2*и*). Пляжи и осередки (острова),

образующиеся соответственно у выпуклых берегов и в местах незначительного расширения долины, служат как бы перевалочными пунктами для наносов [25]. Чаще всего они сложены из крупного материала и не меняют своего местоположения, что выявляется при сравнении снимков последовательных съемок.

Сток по мари обнаруживается на заболоченных участках в зоне многолетней мерзлоты по исчезновению русла с открытой водной поверхностью. Такое случается иногда и на устьевых участках притоков. При этом типе русла долина не выражена.

В горных районах зоны многолетней мерзлоты при интенсивном развитии склоновых процессов, особенно после уничтожения растительного покрова, в русло и на пойму поступает большое количество материала. В этом случае поток не справляется с транзитом наносов, пойма заполняется плывущими грунтами, исчезают следы прежних положений русла и гривистый рельеф на пойме. Русло все более стесняется, его открытая водная поверхность постепенно совсем исчезает. Образуется долина-марь, по дну которой движется поток без открытой водной поверхности, по рисунку изображения похожий на ледник, так же повторяющий изгиб долины (см. рис. 2*м*). Долины-мари — региональный тип, распространенный в зоне с многолетней мерзлотой [41].

Участки рек, по которым периодически сходят селевые потоки, выделяются на аэрокосмических снимках средних и крупных масштабов по наличию почти прямолинейного распластанного русла белого тона изображения (см. рис. 2*н*). Возникновению селей благоприятствуют значительная глубина горных долин и крутизна их склонов (35° и более), малая длина при большом продольном уклоне, небольшая площадь водосборного бассейна (до 40—50 км^2), низкая водорегулирующая способность тонкого почвенного слоя и обнаженных скал [41].

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛАНОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РУСЕЛ И ПОЙМ РЕК

4.1. Основные положения и требования к исходным материалам

Плановые деформации представляют собой результат намыва и размыва берегов русла. Деформации размыва берегов характеризуются смещением бровки обрушаемого берега и определяются путем совмещения снимков. Деформации намыва берегов обнаруживаются по зарастанию пляжей и осередков и изменению тона изображения этих участков на фотоснимках. Намыв пляжа происходит постепенно, при возрастании отметок начинается

зарастание его прикорневого участка травой и кустарником, что выражается проявлением на снимках серых и светло-серых пятен на белом фоне пляжа. При дальнейшем нарастании отметок пляжа происходит зарастание приподнятых участков древесной растительностью, что выражается в дальнейшем потемнении тона изображения и увеличении площади этих участков.

Перед началом работы исполнитель должен ознакомиться с аэрофотосъемочной изученностью района, заказать и получить материалы всех площадных и маршрутных аэрофотосъемок за разные годы. Для совмещения также должны быть использованы материалы космических съемок, высокого качества контактная печать которых может дать достаточно точные данные о плановых деформациях.

Для определения плановых деформаций используются материалы многократных последовательных съемок одного и того же участка реки в масштабах от 1 : 200 000 и крупнее, представленные в виде фотопланов (уточненных фотосхем), фотосхем, репродукций фотосхем, контактных отпечатков. Теоретически оптимальными для совмещения являются фотопланы. На практике предпочтительнее использовать контактные отпечатки, так как они имеют достаточно высокую разрешающую способность и удобны при использовании в работе. Используются в той или иной мере все полученные материалы, даже выполненные с негативов низкого качества. Нужно иметь в виду, что специальных съемок в заданных масштабах в низкую межень сделано очень мало и они выполнены только на коротких участках рек (чаще всего за одну дату съемки). Для совмещения используются также имеющиеся картографические материалы, в том числе лоцманские карты. Аэрокосмические снимки разных дат съемок и картографические материалы, выполненные в разное время, позволяют оценить состояние русла, поймы, долины последовательно по годам, а также выявить связи скорости смещения (размыва-намыва) с изменением водности (изменением уровней и расходов). При сопоставлении лоцманских карт со снимками возникает ряд трудностей, так как эти материалы составлены в разное время, разными авторами и на них практически отсутствуют опорные точки и линии на берегу. Хорошие результаты дает подключение к анализу картографических материалов, полученных в конце прошлого и начале нынешнего веков.

4.2. Общая методика совмещения снимков

Совмещение фотоснимков производится на любом проекционном аппарате. Предпочтительнее выполнять совмещение на УТП, так как в этом случае можно использовать материалы в любом исполнении. При совмещении разномасштабные материалы приводятся к одному масштабу или путем фотоувеличения — при наличии негативов, или на УТП — при наличии только позитивов.

Используя негативы (пленки) можно выполнить фотоувеличение 10* и более. На УТП материалы любого исполнения можно довести до 4* увеличения.

В качестве основы для совмещения выбираются фотоснимки хорошего качества, масштаб которых близок к масштабу совмещения. С фотоснимков снимаются кальки. На кальку (планшет) с фотоизображения черной тушью (линии черного цвета наиболее четко выделяются на белом планшете при наложении на него изображения через УТП) переносятся: урезы воды (пунктиром); линии бровок подмываемых берегов; границы травянистой, кустарниковой и древесной растительности на пляжах и островах; границы поймы; контуры озер, стариц, сухих русел, устьевых участков притоков, поселений и сельскохозяйственных угодий; линии, подчеркивающие микрорельеф поймы и местные устойчивые ориентиры.

Оконтуривание зон намыва выполняется по материалам летних съемок, так как границы древесной растительности, появление которой чаще всего является признаком достаточно высоких отметок пляжей и островов, наиболее четко проявляются в период вегетации. Не рекомендуется для определения зон намыва использовать снимки осенних и ранневесенних съемок. При проведении линии подмываемого берега на крупномасштабных снимках иногда помехой является тень от высокого берега. Для избежания ошибки эти участки не наносятся на схему.

На мелкомасштабных и крупномасштабных снимках по-разному проявляются общие линии (контуры) и точки. На мелкомасштабных и среднемасштабных снимках (масштаба 1 : 60 000 и мельче) четко прочерчиваются линии коренных берегов, но не всегда выделяются границы растительных сообществ. При увеличении масштаба (крупнее 1 : 50 000) линии коренных берегов теряют свою четкость, но проявляются характерные линии на пойме. Необходимо подчеркнуть особую устойчивость выделенных линий (контуров) на пойме за все периоды между съемками.

Путем переноса всех характерных линий с фотоизображения на планшет на нем изображается схема участка реки. С помощью УТП (или любого проекционного аппарата) выполняется совмещение фотоизображения участка реки за другую дату съемки со схемой на планшете. *Совмещение производится по общим точкам и линиям методом наилучшего совпадения и только на участках общих частей кадров.* Общие линии и точки выявляются предварительно визуально и на планшет наносятся с особой тщательностью. Чаще всего они выделяются на пойме. Выбирается не менее четырех контурных линий или точек в разных углах четырехугольника, охватывающего совмещаемый участок. Для обеспечения большей точности совмещения желательно иметь пятую контрольную линию (точку) примерно в центре совмещаемого участка. Совмещаемый участок снимка располагается в центре экрана. Чаще всего используют позитивное изображение. Совмещенное изображение участка реки за вторую дату съемки

наносится на планшет тушью другого цвета. Не рекомендуется на один планшет наносить более трех изображений.

После наложения изображений выявляется смещение линий обрушаемых берегов и изменение контуров растительности на пляжах и островах, выделяются и обозначаются зоны размыва и намыва, оцениваются максимальные значения смещений (в миллиметрах), определяются истинные значения смещений (в метрах) с учетом масштаба совмещенных схем; вычисляются осредненные максимальные скорости смещения (в метрах в год) делением полученного значения смещения (в метрах) на временной интервал между съемками (в годах).

Поскольку выполненные таким образом совмещенные схемы и их монтаж на участок реки значительного протяжения изготовлены не на жесткой плановой основе, то такие материалы называются схемами.

Возможно непосредственное наложение позитивного изображения за одну дату съемки на негативное изображение за другую дату. За счет этого усиливается изображение измененных участков. Значительные изменения на участке можно достаточно точно оценить при визуальном сравнении снимков (при отсутствии приборов для совмещения). На старый снимок постепенно наносится современная бровка, определяется масштаб снимка, измеряется *максимальное* смещение и вычисляется скорость смещения [39].

Пример совмещения фотоснимков. Для определения плановых деформаций на участке реки подобраны материалы аэрокосмических съемок разных масштабов, дат и различного качества исполнения. Фрагменты использованных снимков изображены на рис. 5, данные о датах и масштабах съемки приведены в табл. 5.

Таблица 5

Сведения об использованных материалах

№ снимка на рис. 5	Дата съемки	Масштаб материалов	Представлены в виде	Качество печати
1	09.48	1 : 100 000	Светокопия фотосхемы	Плохое
1а	02.09.73	1 : 200 000	Контактный отпечаток	Удовлетворительное
1б	29.04.75	1 : 200 000	То же	То же
6	27.05.75	1 : 25 000	„	Хорошее
2	10.09.75	1 : 50 000	„	„
4	11.06.76	1 : 60 000	„	„
7	04.08.77	1 : 7 000	„	„
3	04.05.78	1 : 25 000	„	„
5	19.07.78	1 : 25 000	„	„
8	23.05.81	1 : 15 000	„	Плохое

За основу при совмещении выбран контактный отпечаток хорошего качества съемки 1976 г. (*4*) с контрастным изображением участка, расположенным

в центре кадра. С помощью УТП путем 4* увеличения на планшете подготовлена схема участка в масштабе 1 : 15 000. Совмещение полученной схемы с изображениями со снимков *6, 2, 7* и *3* не выявило изменений на участке, так как за этот период между съемками уровни H и расходы воды Q не превышали среднемаксимальных значений. По отдельным фрагментам были выполнены проверочные совмещения в масштабе 1 : 5000. Эти совмещения подтвердили, что на участке за период 1975—1978 гг. (до паводка) обрушения берегов не превышали 5 м (смещение линий обрушаемых берегов менее 1 мм). По наземным наблюдениям, обрушения на участке в этот период составили 1,0—3,0 м/год. В паводок 1978 г. произошли обрушения бровок берегов до 7 м. Эти данные использованы для построения зависимости на рис. 13.

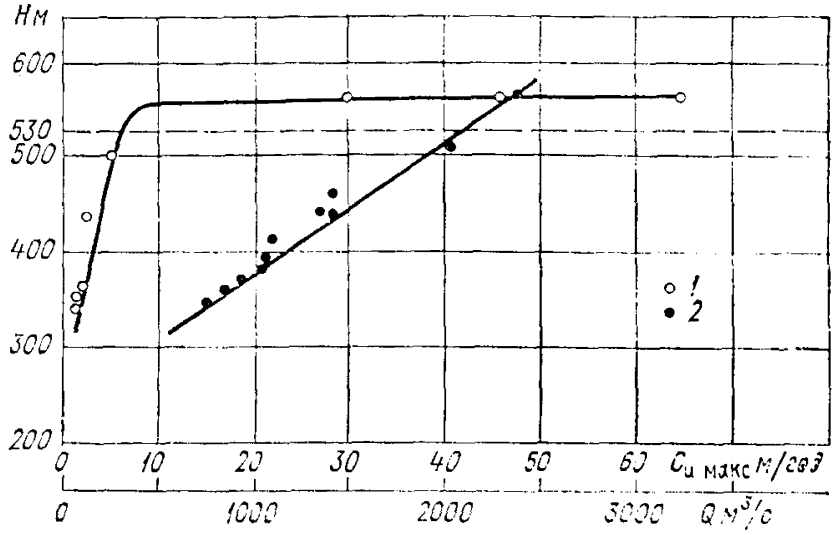


Рис. 13. Зависимости $C_{и\ макс}=f(H)$ и $Q=f(H)$, где $C_{и\ макс}$ — максимальная скорость смещения линии обрушаемого берега, м/год; H — уровень воды, м; Q — расход воды, м/с.

1 — максимальные скорости плановых деформаций (размывы), м/год; *2* — измеренные расходы.

За период 1976—1981 гг. путем совмещения снимков *4* и *8* выявляются значительные изменения на участке (см. рис. 6). Обрушения, достигающие 60 м, относятся за счет паводка 1980 г., уровни и расходы которого значительно превышают все измеренные за период наблюдений.

Значительные изменения за период 1948—1976 гг., используя данные об уровнях по реке-аналогу, можно отнести к паводку 1962 г., уровни которого близки к уровням в паводок 1980 г. Максимальное значение скорости смещения бровки берега, осредненное за этот период, составляет 3,5 м/год.

Снимки *1* и *8* дают основные сведения о переформированиях на участке, происшедших за период 1948—1981 гг. Эти снимки низкого качества, совмещение с ними выполнено методом наилучшего совпадения.

В анализ включены также материалы космического фотографирования, полученные в маловодные 1973 и 1975 гг. ($1_а$ и $1_б$). Совмещение схем, полученных с этих снимков, подтверждает отсутствие изменений на участке за эти годы.

Совмещение и визуальная оценка выявили отсутствие намыва пляжей. За 33 года пляжи не заросли, что указывает на то, что в паводки происходит транзит наносов по всей площади пляжей. Не выявлено и изменений на пойме, так как выделенные контурные линии на пойме сохранились неизменными за весь период между съемками.

4.3. Оценка погрешностей совмещения

В основу выполняемых совмещений положена предпосылка о том, что смещение бровок берегов фиксируется определенно только при смещении не менее 1 мм. Точность определения скорости плановых деформаций зависит от смещения, которое в свою очередь определяется скоростью плановых деформаций на участке реки, выбором масштаба совмещения, интервалом времени между съемками.

При значительных обрушениях, например 200 м/год, смещение линии обрушаемого берега будет равно 1 см при совмещении в масштабе 1 : 20 000 и с интервалом в 1 год между съемками. При незначительных обрушениях, например 2,0 м/год, нужен 10-летний период между съемками и масштаб совмещения 1 : 2000, чтобы получить ту же точность определения скорости плановых деформаций.

При малом смещении линий (контуров) подмываемых берегов, близком к 1 мм, погрешность при определении плановых деформаций будет значительной. Необходимо напомнить, что 1 мм при масштабе 1 : 2000 составляет 2 м; 1 : 10 000 — 10 м; 1 : 15 000 — 15 м и т. д. Ясно, что при увеличении масштаба совмещения (путем фотоувеличения, предельно использующего разрешающую способность снимков-негативов) происходит возрастание значения смещения линий. Увеличивается значение смещения и при привлечении картографических материалов за более ранние даты — этим удлиняется период между съемками. За счет увеличения значения смещения такими путями резко снижается погрешность при определении плановых деформаций.

Погрешности при определении плановых деформаций могут появиться и за счет допущенных неточностей при: монтаже фотосхем, использовании малоконтрастных снимков, графическом исполнении схем, выполнении совмещения снимков, определении масштаба совмещенных схем.

Неточности монтажа фотосхем не повлекут за собой погрешностей при определении плановых деформаций, если совмещение выполняется только по общим частям тех кадров, из которых смонтированы фотосхемы. Для уменьшения неточностей совмещения малоконтрастных фотоснимков по ним выполняется предварительное визуальное дешифрирование. Выделенные точки и контуры переносятся на планшет тонкими линиями (тушью), чем снижаются неточности графического исполнения. Погрешности графического исполнения возможны при использовании мелкомасштабных снимков. Например, при использовании снимков масштаба 1 : 200 000 на планшете рисуется схема через УТП при 4* увеличении. Для совмещения со схемой масштаба 1 : 15 000 (выбранный масштаб совмещения) выполняется вторичное увеличение схемы примерно в 3,5 раза. При таком увеличении линии на схеме приобретают толщину, близкую к 1 мм, а точки имеют

площадь. Для снижения погрешности необходимо выполнять совмещение по центрам широких линий и точек.

Рассмотрим погрешности при определении масштаба снимков Наиболее точно масштаб совмещаемых снимков определяется по картам масштаба не мельче 1 : 100 000. Имея данные из дневника полетов о фокусном расстоянии АФА (f) и о высоте съемки (H_c), можно определить масштаб фотоснимков (m) по формуле [3, 30, 31]

$$\frac{1}{m} = f/H_c. \tag{4.1}$$

Искажение, возникающее за счет наклона при аэрофотосъемке и при изображении рельефа (например, на пойме) не должно превышать графическую точность построения совмещения [3]. Покажем это на примере.

Вычислим по формуле возможное смещение ΔB контурных линий (точек) на снимке, если, например, угол наклона снимка $\alpha = 2°$; радиус-вектор, определяющий на снимке размеры зоны совмещения $r = 70$ мм; фокусное расстояние АФА $f = 70$ мм [3]:

$$\Delta B = 2\,(r^3/f^2)\sin\alpha. \tag{4.2}$$

Подставив в уравнение (4.2) числовые значения параметров, получим $\Delta B = 0{,}18$ мм, т. е. возможное смещение контуров, возникающее за счет наклона при аэрофотосъемке, менее толщины графической линии, равной 0,25 мм.

Приняв предельно допустимое смещение линий на снимках за счет изображения рельефа $\Delta B_{макс}$ равным 0,25 мм, масштаб совмещения $1/m = 1/15\,000$, имея АФА с $f = 100$ мм и радиус-вектор на нетрансформированном снимке $r = 50$ мм, получим предельно допустимое значение сечения горизонталей рельефа поймы или превышения отметок точек рельефа [3]:

$$h_{п\,макс} = [(f\,m)/r]\,\Delta B_{макс};\quad h_{п\,макс} = 7{,}5\ \text{м}. \tag{4.3}$$

На совмещаемых снимках сечение горизонталей, или разница в высоте между контурными линиями (точками), должно быть меньше значения, полученного по формуле (4.3).

4.4. Определение плановых (горизонтальных) деформаций при разных типах руслового процесса

При разных типах руслового процесса определение плановых деформаций имеет свою специфику.

При свободном меандрировании скорость плановых деформаций зависит от стадии развития излучины. В свою очередь стадия развития излучины характеризуется углом ее разворота ($\alpha_{разв}$). В табл. 6 приводятся значения коэффициента $K_и$, учитывающего изменение скорости плановых деформаций излучины в зависимости от стадии ее развития [39].

Таблица 6

Рекомендуемые значения коэффициента $K_и$

$\omega^0_{разв}$ . . .	50	100	120	140—160	180	200	250
$K_и$	0,1	0,5	0,8	1,0	0,8	0,5	0,1

На одной и той же стадии развития излучины плановые деформации различны в маловодные и многоводные годы. При низких уровнях они незначительны, а при высоких — могут возрасти на порядок, т. е. за один паводок могут произойти обрушения берегов, превышающие смещение берегов за весь период между съемками. Путем последовательного совмещения снимков выявляются размеры плановых деформаций при разных уровнях (расходах), выделяются уровни (расходы), при которых возможны максимальные обрушения (см. пример выполненного совмещения).

Прогноз смещений обрушаемых берегов можно выполнить по формуле Н. Е. Кондратьева

$$\Delta B_б = K_и T C_{и\,макс}\,[(h_{макс} - h_{ср})/(h_{пл} - h_{ср})], \qquad (4.4)$$

где $\Delta B_б$ — смещение бровки подмываемого вогнутого берега излучины за расчетный период времени T лет, м; $C_{и\,макс}$ — наибольшая в пределах данной излучины осредненная за период скорость смещения бровки вогнутого берега, м/год; $h_{макс}$ — наибольшая глубина русла в расчетном створе, м; $h_{ср}$ — средняя глубина на гребнях двух смежных перекатов, ограничивающих излучину и расположенных в местах перегиба ее средней линии, м; $h_{пл}$ — наибольшая глубина русла в плесе излучины, м [33].

На участке реки с десятками излучин, находящимися на разных стадиях развития, путем совмещения материалов последовательных съемок определяются $C_{и\,макс}$ для каждой излучины. Из полученных значений для данного участка определяется осредненное значение $\overline{C}_{и\,макс}$. При рассмотрении всего такого участка, а не отдельной излучины, отношение между разностями глубин в формуле (4.4) примерно равно единице. Коэффициент $K_и$, характеризующий стадии развития излучин, также определяется по нескольким излучинам, а затем вычисляется ее среднее значение. На морфологически однородном участке реки можно определить период полного развития излучины

$$T = \overline{B}_б/\overline{C}_{и\,макс}. \qquad (4.5)$$

При определении $C_{и\,макс}$ необходимо использовать материалы с достаточным интервалом между съемками, охватывающим годы с паводками редкой повторяемости, чтобы в расчет были включены значения обрушения берегов за время этих паводков.

Намыв (зарастание) пляжей следует за обрушаемым берегом, и осредненная за продолжительный период скорость деформаций размыва и намыва оценивается обычно одними и теми же цифрами.

По снимкам выявляются также изменения на поймах, происходящие при образовании прорв в береговых валах или за счет поступления грунтов со склонов.

При незавершенном меандрировании излучины спрямляются, не достигая последних стадий развития. На какой-то стадии развития излучины появляется и начинает развиваться спрямляющий проток. По материалам последовательных съемок выявляется развитие спрямляющего протока от его появления до перехода в него всего меженного расхода. Этот переход бывает приурочен к годам с паводками редкой повторяемости, когда заносится вход в спрямленную излучину и разрабатывается, увеличивая свои размеры, спрямляющий проток. При последовательном совмещении снимков выявляется время прекращения размыва берегов в спрямленной излучине и зарастание ее пляжа до уреза.

При пойменной многорукавности плановые деформации определяются путем совмещения снимков по всем протокам (рукавам) в отдельности.

При склоновой многорукавности путем совмещения выявляется перестройка рукавов, плановые деформации определяются отдельно для каждого рукава. Для совмещения используются крупномасштабные материалы весенних и летних съемок с наибольшими контрастами между руслом и поймой. Материалы осенних съемок, во избежание ошибок, для совмещения использовать не рекомендуется.

При ограниченном меандрировании происходит постепенная переработка пойменного массива в пределах пояса меандрирования, т. е. размывается берег в верховой части излучины и зарастает пляж в низовой части. Время переработки пойменного массива при неизменной ширине долины определяется по формуле

$$T_{\text{п. м}} = \lambda_{\text{и}}/C_{\text{и}}, \tag{4.6}$$

где $\lambda_{\text{и}}$ — шаг излучины, измеренный по снимку; $C_{\text{и}}$ — скорость размыва, определенная после совмещения снимков последовательных съемок с достаточным временны́м интервалом между ними, охватывающим маловодные и многоводные годы [39].

При переменной ширине долины происходит перестройка излучин и соответственно изменяется скорость их сползания.

При побочневом типе руслового процесса отсутствуют плановые деформации берегов. Путем совмещения снимков последовательных съемок, выполненных в низкую межень, определяется перемещение в русле побочней за период между съемками. При определении смещения берется расстояние между наиболее высокими частями (гребнями) побочней. На снимках это чаще всего наиболее светлые (сухие) части побочней.

При ленточно-грядовом типе также отсутствуют плановые деформации берегов. Гребни ленточных гряд, заполняющих русло, срабатываются в межень, поэтому перемещение их не фиксиру-

ется на снимках. Скорость перемещения ленточных гряд можно выявить только при наземных измерениях.

При русловой многорукавности совмещением материалов последовательных съемок выявляются размеры обрушений берегов, перемещение островов. При достаточно большом интервале между съемками устанавливается зарастание осередков, превращение их в острова, обнаруживается смена основного (главного) рукава. К участкам главного рукава приурочены наибольшие значения деформаций размыва. В распластанном русле выявляется зона намыва, где по изменению тона изображения на снимках выделяются стадии зарастания островов.

При горной русловой многорукавности также выявляется обрушение пойменных берегов, перемещение островов и осередков. Деформации протекают значительно быстрее, чем при других типах руслового процесса, поэтому совмещаются материалы последовательных съемок с малым интервалом времени между ними.

Следует иметь в виду, что на гребнях осередков, высота которых совпадает с высотой поймы, начинает свой рост пойменная древесная растительность. Для определения плановых деформаций рекомендуется использовать материалы весенних и летних съемок, поскольку на снимках осенних съемок в низкую межень исчезают контрасты между руслом и поймой.

При наледной многорукавности в пределах наледной поляны происходит аккумуляция наносов. Рисунок многорукавного русла неустойчив в плане, так как наледь в разные годы по-разному направляет главное русло. На участках, где русло подходит к коренному берегу, наблюдается размыв, в распластанном русле перемещаются острова. Усилению размыва способствуют: оттаивание в течение лета ледогрунтовых бугров; выпахивание грунтовых валов при подвижках наледи; оседание грунтов, выносимых весенним потоком на поверхность наледи. Наиболее крупные частицы грунта оседают в верховой части наледной поляны, в низовой части оседают более мелкие. По аэрокосмическим материалам за многолетний период выявляется устойчивость положения в плане зон размыва и намыва. По расположению зон намыва и размыва определяется миграция наледи влево или вправо, вверх или вниз по наледной поляне, так как расположение этих зон в первую очередь зависит от местоположения наледи и ее толщины.

Русловой процесс и процессы, связанные с проявлением многолетней мерзлоты — наледью, тесно переплетены.

Сетчатый (ячеистый) рисунок наледной многорукавности на больших наледных полянах, возможно, связан с полигональной системой ледяных жил, образующихся при морозобойном растрескивании и оттаивающих во время паводка. Образовавшиеся после протаивания ледяных жил протоки прорезают острова, берега их сразу после образования покрыты растительностью, в них отсутствуют внутрирусловые образования — осередки и пляжи.

В зонах намыва, где идет интенсивное зарастание осередков карликовой растительностью, образование островов часто связано с процессами выпучивания — образованием под почвенным покровом ледяных линз.

При определении плановых деформаций, особенно для выявления зоны намыва, необходимо использовать снимки за июль—август, когда в основном закончены процессы оттаивания наледи и вся растительность на островах проявляется на снимках (серый, темно-серый тон изображения в сравнении с белым и светло-серым изображением незарастающих осередков).

При вынужденном меандрировании выполняется совмещение материалов меженных съемок на участках с зачаточными или остаточными поймами.

Процессы заболачивания, связанные с исчезновением открытой водной поверхности на реках (долины-мари), довольно длительны, и их динамику современные аэрокосмические материалы чаще всего не охватывают. Произошедшие изменения восстанавливаются по логическим признакам и с помощью материалов наземных обследований.

В распластанных руслах горных рек, по которым периодически проходят сели, на крупномасштабных снимках (особенно спектрозональных) проявляется многорукавность — выделяются рукава и осередки. Для выявления происходящих изменений совмещаются крупномасштабные материалы с малым периодом между съемками.

5. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК С ЦЕЛЬЮ АНАЛИЗА РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА

5.1. Восстановление истории развития котловин, долин, пойм и русел

Аэрокосмические фотоснимки разных масштабов за разные даты съемок представляют собой материал, необходимый для восстановления истории развития котловин, долин, пойм, русел и излучин (по рельефу пойм) [1, 23, 42, 43]. Одновременно при анализе необходимо использовать материалы аэровизуальных и наземных обследований, а также публикации в смежных областях науки.

По аэрокосмическим снимкам масштабов от 1 : 1 000 000 и крупнее просматривается строение днищ котловин и долин, выделяются границы рыхлых отложений различного происхождения, выявляются границы поймы, обнаруживается современная пере-

стройка речной сети. При анализе материалов аэрокосмических съемок на участках рек значительного протяжения дешифрируются оставленные реками участки долин, прослеживается смена русел на устьевых участках притоков и одновременное спрямление многих излучин. Выявление произошедших изменений в долинах и на поймах по прямым и косвенным дешифровочным признакам показано на примере рек в котловинах Байкальского типа.

Котловины Байкальского типа — это вытянутые межгорные понижения, днища которых заполнены рыхлыми отложениями различного происхождения. Накопление в межгорных впадинах песков, похожих на озерные, связано с образованием подпорных водоемов на участках рек после вертикальных тектонических под-

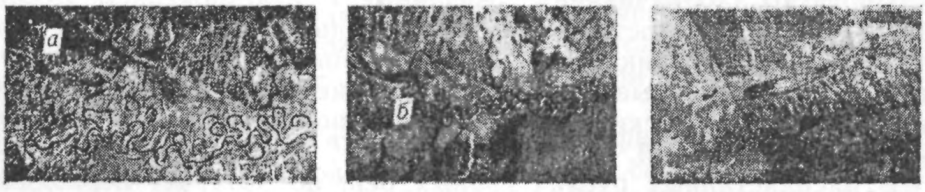


Рис. 14. Следы катастрофических явлений.

а — участок старой долины, оставленной рекой; днище долины заболочено, спланировано, приподнято над современной поймой; *б* — современное русло, пойма, долина.

вижек, обвалов, осыпей, оползней [33]. При анализе аэрокосмических материалов выявляется множество признаков, подтверждающих, что в разное время и по разным причинам праводоемы были спущены. При быстром спуске воды происходил смыв в низовой части водоема. У большинства водоемов выявляются признаки постепенного опорожнения по мере заполнения наносами до отметки порога. Вслед за спуском воды из праводоема ранее перегороженная река прокладывала русло и формировала пойму в толще рыхлых (подвижных) отложений. По рисунку русла, по наличию и строению поймы качественно можно оценить разновременность опорожнения праводоемов. Сравнительно недавно при резком исчезновении преграды спущены воды из водоема в верховьях р. Муякан. Современное русло р. Муякан врезается в толщу сохранившихся рыхлых отложений, пойма еще формируется. В Верхнеангарской и Баунтовской котловинах от праводоемов сохраняются озера-останцы в наиболее глубоководных или тупиковых участках, куда менее всего поступали выносимые реками наносы. По выположенным, выровненным днищам котловин реки Верхняя Ангара и Ципа проложили свободно меандрирующие русла, сформировали низкие, затапливаемые в паводок поймы. Процесс заполнения спланированных днищ котловин рыхлыми отложениями продолжается.

Верхнемуйская котловина опорожнена сравнительно давно, рыхлые отложения не спланированы. В современный период процессы стеснения поймы и русла грунтами, спускающимися со

склонов, протекают значительно интенсивнее, чем деятельность потока (см. рис. 11 *и*).

Муйско-Куандинская котловина заполнена разновысокими рыхлыми отложениями. В средней части котловины толща песчаных отложений переработана водами р. Витима. Здесь образовались многорукавное русло и широкая пойма, неоднократно менявшие свое положение на спланированной части днища котловины. Притоки р. Витима — Муя и Куанда — прорезали толщу рыхлых отложений, создав достаточно широкие поймы.

Наличие толщи рыхлых отложений в районе с повышенной сейсмичностью является одной из причин современных перестроек речной сети, выявленных по аэрокосмическим материалам. Оставленные участки долин выявлены у рек Мудирикан, Куанды, Чары (см. рис. 2 *е* и 14). По снимкам средних масштабов обнаружено одновременное спрямление всех или большинства излучин в пределах котловины. Например, неоднократно прокладывала новое русло р. Муякан в пределах всей котловины. Подобная смена положения русла выявлена на реках Муе, Ципе, Верхней Ангаре, Амгуни и др.

В котловинах Байкальского типа выделена характерная смена положения русел на устьевых участках притоков. Например, р. Средний Сакукан с периодичностью 300—500 лет меняет русло на устьевом участке. Следы его древних русел, по размерам излучин близких к современным,

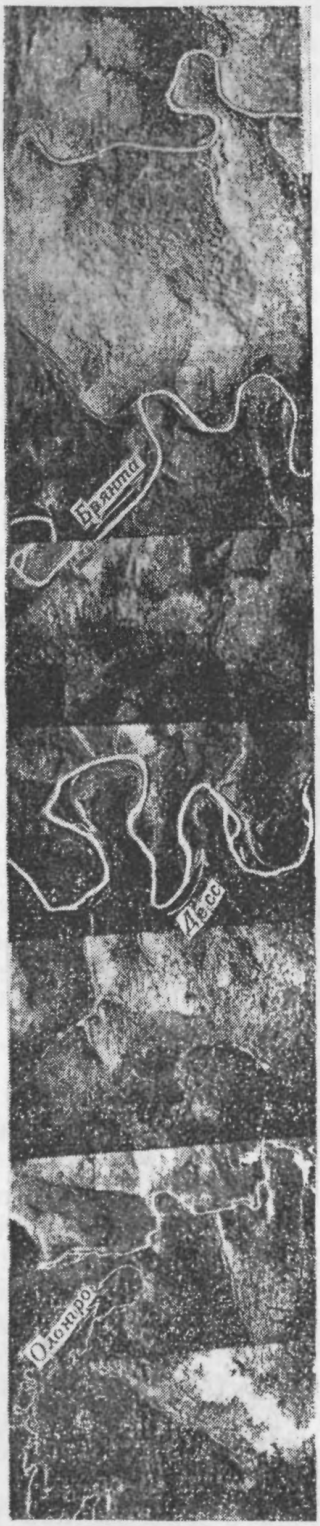


Рис. 15. Врезанные излучины в районе с интенсивным поднятием земной коры.

Р. Олонгро (слева на рис.) — видны участки свободно меандрирующего русла в пределах древнего русла. Путем сравнения современных и древних (врезанных) излучин можно оценить изменение стока воды.

просматриваются на снимках вдоль левобережного склона Верхнечарской котловины.

По аэрокосмическим материалам средних масштабов выделяются (оконтуриваются) участки с интенсивным поднятием земной коры по наличию врезанных излучин. Форма «свободно меандрирующих» на разных стадиях развития излучин сохраняется на участках правобережных притоков р. Зеи (от р. Мульмуган до р. Упахи) (рис. 15). Здесь же выявляется изменение стока почти на порядок. Современные долины сохраняют извилистость древних русел.

5.2. Оценка влияния антропогенного воздействия на русловой процесс

При антропогенном воздействии происходит нарушение естественных процессов на водоразделах, на склонах долин, на поймах и в руслах рек [8, 23]. Происходящая перестройка приводит к изменению одного или всех показателей руслоформирующих факторов, влечет за собой изменение типа руслового процесса. Последовательные фотосъемки дают возможность получить динамику этих изменений при антропогенном воздействии и составить прогноз на будущее [45, 46].

1. Строительство ГЭС, создание больших водохранилищ уничтожает на значительном протяжении русло, пойму, а иногда и надпойменные террасы. По форме водохранилищ, которые просматриваются на ТВ снимках, можно судить о типе руслового процесса на участке реки до строительства ГЭС (см. рис. 1 *з, и*). С помощью аэрокосмических материалов выявляется перестройка русла и поймы в зоне переменного подпора.

2. Значительные изменения, выявляемые по аэрокосмическим материалам, происходят в долинах, на поймах и в руслах рек после пожаров и вырубок, случавшихся в разное время, разной интенсивности и различных по охвату территорий (см. рис. 11 *а, б*). Наиболее сильное влияние их на русловой процесс выявлено по материалам аэрокосмических фотосъемок в зоне многолетней мерзлоты (зона БАМ): в Верхнеангарской, Муйско-Куандинской и Верхнечарской котловинах, в левобережной части бассейна р. Зеи и бассейне р. Амгуни.

В зоне ЕТС после уничтожения древесной растительности выполнялась распашка склонов долин; наблюдаются выносы грунтов на поймы, особенно малых рек, стеснение и даже исчезновение пойм, поднятие их отметок, планировка и распашка. На снимках, полученных в паводок, на участках бывших пойм проявляется рисунок стариц и проток. Квадраты вырубок и сельскохозяйственных угодий, темные пятна свежих пожарищ видны даже на мелкомасштабных снимках (см. рис. 11 *б*).

В зоне с многолетней мерзлотой при освоении пойм уничтожается растительный покров, нарушается почвенный покров, что

в свою очередь сразу выявляется на снимках последовательных съемок по появлению осветленных пятен [34, 52]. На этих участках возможно морозобойное растрескивание грунтов, а также вытаивание погребенных полигонально-жильных льдов, затем последующая планировка и общее понижение поймы.

3. При просмотре снимков выявляются последствия строительства на склонах и на поймах различных сооружений, в частности дамб и насыпей (см. рис. 3). Дамбы наглухо перегораживают поймы, сосредоточивают потоки под мостовыми переходами. На снимках выявляются участки выше дамб, с выровненными и заболоченными поймами, прорвы вдоль дамб. На участках ниже дамб (мостовых переходов) выявляется врезка русла, что в первую очередь выражается на снимках в ускоренном зарастании пляжей до урезов, повисании устьев проток, в относительном поднятии пойм.

4. Массовые выемки грунта из русел и с пойм приводят к необратимым изменениям на участках рек, к понижению отметок дна, понижению уровней воды, но в свою очередь сокращают размывы обрушиваемых берегов, что выявлено при совмещении снимков последовательных съемок на р. Гилюе. Выполненные недавно карьеры в руслах и на поймах легко дешифрируются на крупномасштабных снимках (см. рис. 14 *е*, *ж*, *з*).

5. После добычи полезных ископаемых в руслах, особенно после работы драг, за значительный период между последовательными съемками (около 40 лет) измененные русла и поймы исследованных малых рек не восстанавливали свой естественный вид.

6. Значительную перестройку внутри русла можно обнаружить по снимкам участков рек с оставленными опорами разрушенных сооружений, топляками после молевого сплава леса и др. Изменения в русле, на пойме, на склонах выявляются по последовательным съемкам, а причины, вызвавшие их,— при наземных обследованиях.

5.3. Использование аэрокосмической информации при наземных обследованиях рек

При проведении наземного обследования (морфологической съемки) в качестве основы можно использовать материалы аэрокосмических фотосъемок. При рекогносцировочном обследовании значительного по протяженности участка реки производится подбор контактных отпечатков вдоль всего маршрута в масштабах 1 : 20 000—1 : 60 000. Параллельно при обследовании используются схемы участка реки, представленные на планшетах или на кальке и выкопированные с фотосхемы. Снимки обеспечивают близкую к инструментальной привязку точек и линий на местности, по которой проводятся следующие работы: визуальное или полуинструментальное определение высоты (от уреза) всех морфологиче-

ских образований; выделение зон намыва и размыва с определением размеров плановых деформаций (одновременно дается послойное описание вскрытых грунтов и фотографируется участок обрушений); отбор фотопроб донных наносов на пляжах, осередках; измерение по поперечникам глубин; определение скорости течения и размеров перекошенных ленточных гряд; точечные измерения в русле, на берегах, на пойме и др. [23, 38, 39]. Одновременно с указанными работами ведется: картирование растительного покрова на берегах, пойме и склонах; оконтуривание участков пожарищ и усиленного антропогенного воздействия; выявление способности растительного покрова к восстановлению; обозначение участков эрозионной опасности. В дневнике дается подробное описание всех наблюдений, включая мелкие детали, которые при камеральном дешифрировании могут послужить ключом к выявлению региональных особенностей. На основе фотосхем с одновременным использованием полученных при обследовании материалов и данных с топографических карт составляются гидроморфологические схемы, представляемые в схематичном плановом изображении и в виде совмещенных графиков по длине изучаемого участка реки (см. рис. 7, 8).

При детальном изучении участка реки небольшого протяжения используются фотопланы, уточненные фотосхемы в масштабах 1 : 2000—1 : 10 000 и выкопировки (схемы) с них. Фотоплан и выкопировки могут быть использованы в качестве планшетов при инструментальной съемке. При выполнении промеров в русле без инструментальной привязки по фотоплану определяются и на него (или на схему) наносятся створы. Равномерное расположение точек с промерами вдоль створа обеспечивается поддержанием постоянной скорости движения лодки и измерениями глубины через определенные (равные) промежутки времени. По фотоплану определяется местоположение точек и линий с измерениями в русле и на берегу. Фотопланы (уточненные фотосхемы) являются основой для будущих измерений на участке реки. В настоящее время есть необходимость в создании основ-фотопланов на участках многих рек, где ведутся постоянные наблюдения за русловым процессом.

Список литературы

1. Альтер С. П. Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков.— М.; Л: Наука, 1966.— 88 с.

2. Беркович К. М., Кирик О. М., Сваткова Т. Г., Чалов Р. С. Карта «Русловые процессы на реках СССР для высшей школы и методика ее составления».— М.: Вестник МГУ, 1982, вып. 5, с. 10—16.

3. Бобир Н. Я., Лобанов А. Н., Федорук Г. Д. Фотограмметрия.— М.: Недра, 1974.— 472 с.

4. Богомолов Л. А. Дешифрирование аэроснимков.— М.: Недра, 1976.— 146 с.

5. Брюханов А. В., Господинов Г. В., Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические методы в географических исследованиях.— М.: Изд-во МГУ, 1982.— 232 с.

6. Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я. Космические методы землеведения.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 192 с.

7. Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды.— М.: Мысль, 1976.— 286 с.

8. Виноградов Б. В. Преобразованная земля.— М.: Мысль, 1981.— 296 с.

9. Водные ресурсы рек зоны БАМ/Под ред. А. И. Чеботарева, Б. М. Доброумова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 272 с.

10. Востокова Е. А. Использование аэрокосмических фотоснимков при гидрогеологических исследованиях в пустынях.— М.: Недра, 1980.

11. Временные методические рекомендации по использованию спутниковой информации. Оценка затоплений речных пойм.— Л.: Гидрометеоиздат, 1982.— 48 с.

12. Глушков В. М., Комаров В. Б. Применение радиолокационной аэросъемки при геолого-географических исследованиях.— Л.: Недра, 1981.— 240 с.

13. Гонин Г. Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов.— Л.: Недра, 1980.— 320 с.

14. Гравис Г. Ф. Склоновые отложения Якутии (условия накопления и промерзания, криогенное строение).— М.: Недра, 1969.— 128 с.

15. Гришанин К. В. Теория руслового процесса.— М.: Транспорт, 1972.— 216 с.

16. Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Альбом.— М.: Наука, 1982.— 52 с.

17. Живичин А. Н., Соколов В. С. Дешифрирование фотографических изображений.— М.: Недра, 1980.— 254 с.

18. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций/Под ред. К. Я. Кондратьева.— Л.: Гидрометеоиздат, 1972.— 400 с.

19. Калинин Г. П., Курилова Ю. В., Колосов П. А. Космические методы в гидрологии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 184 с.

20. Кац Я. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М. Космические методы в геологии.— М.: Изд-во МГУ, 1976.— 248 с.

21. Кирик О. М., Сваткова Т. Г., Чалов Р. С. Изучение русловых процессов на примере Вилюя.— В кн.: Космическая съемка и тематическое картографирование. М., 1980, с. 113—118.

22. Комаров В. Б., Старостин В. А., Наявро Б. П. Радиолокационная аэросъемка и ее значение в комплексе аэро- и космических методов геологических исследований.— В кн.: Исследования природной среды космическими средствами. Геология и морфология.— М., 1973.

23. Кондратьев Н. Е., Попов И. В., Снищенко Б. Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса.— Л.: Гидрометеоиздат, 1982.— 272 с.

24. Копалиани З. Д., Ромашин В. В. Проблемы русловой динамики горных рек.— Труды ГГИ, 1970, вып. 183, с. 81—98.

25. Копалиани З. Д., Цхададзе В. С. Типы речных русел Западной Грузии.— Труды ГГИ, 1972, вып. 195, с. 20—32.

26. Кудрицкий Д. М., Попов И. В., Романова Е. А. Основы гидрографического дешифрирования аэроснимков.— Л.: Гидрометеоиздат, 1956.— 344 с.

27. Кучко А. С. Аэрофототопография.— М.: Наука, 1974.— 272 с.

28. Лобанов А. Н. Аэрофотография.— М.: Недра, 1978.— 276 с.

29. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне.— М.: Изд-во АН СССР, 1955.— 346 с.

30. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 72. Определение поверхностных скоростей течения (расходов воды) рек с помощью аэрофотосъемки и фотосъемки с берега.— Л.: Гидрометеоиздат, 1966.— 112 с.

31. Методические рекомендации по измерению расходов воды рек аэрометодами.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.— 134 с.

32. Нефедов К. Е., Попова Г. А. Дешифрирование грунтовых вод по аэрофотоснимкам.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.— 180 с.

33. Олюнин В. Н. Происхождение рельефа возрожденных гор.— М.: Наука, 1978.

34. Оспенников Е. Н., Труш Н. И., Чижов А. Б., Чижова Н. Н. Экзогенные геологические процессы и явления. Южная Якутия.— М.: Изд-во МГУ, 1980.— 228 с.

35. Пиньковский С. И. Типы речных русел Северо-Востока СССР и полуострова Камчатка.— Труды ГГИ, 1966, вып. 120, с. 55—97.

36. Попов И. В. Аэрофотосъемка и изучение вод суши.— Л.: Гидрометеоиздат, 1960.— 188 с.

37. Прокачева В. Г., Снищенко Д. В., Усачев В. Ф. Дистанционные методы гидрологического изучения зоны БАМа.— Л.: Гидрометеоиздат, 1982.— 224 с.

38. Рекомендации по учету руслового процесса при проектировании ЛЭП.— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.

39. Рекомендации по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод.— М.: Стройиздат, 1981.— 224 с.

40. Рекомендации по учету деформаций речных русел при проектировании инженерных сооружений на реках зоны Байкало-Амурской железнодорожной магистрали.— Л.: Гидрометеоиздат, 1983.— 72 с.

41. Симонов Ю. Г. Региональный геоморфологический анализ.— М.: Изд-во МГУ, 1972.— 250 с.

42. Смирнов Л. Е. Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1967.— 214 с.

43. Смирнов Л. Е. Аэрокосмические методы географических исследований.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1975.

44. Снищенко Б. Ф. Типы руслового процесса и их возникновение.— Труды ГГИ, 1980, вып. 263, с. 4—40.

45. Снищенко Б. Ф. Русловой процесс на урбанизированных участках рек.— В кн.: Гидрологические аспекты урбанизации. М., 1978, с. 51—60.

46. Снищенко Д. В. Использование аэрокосмической информации для прогноза руслового процесса на обширных территориях.— В кн.: Доклады XII Конференции Придунайских стран по гидрологическим прогнозам. Братислава, 1984, т. 4—7.

47. Снищенко Д. В. Опыт использования материалов аэрофотосъемки для оценки руслового процесса рек зоны БАМ.— Труды ГГИ, вып. 276, 1980, с. 100—107.

48. Спищенко Д. В. Возможности использования телевизионных снимков с ИСЗ «Метеор» для оценки типов руслового процесса.— Труды ГГИ, вып. 299, 1984, с. 55—59.

49. Спищенко Д. В. Наледная многорукавность как характерный тип руслового процесса на реках зоны БАМ.— Труды ГГИ, вып. 299, 1984, с. 59—63.

50. Толстихин О. Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР.— Новосибирск: Наука, 1974,— 164 с.

51. Хайдаров Р. М. Динамика дельты реки Или.— Труды ГГИ, вып. 160, 1968, с. 180—221.

52. Хуторцев И. И. Влияние концентрированных рубок леса на эрозию горно-лесных почв.— В кн.: Эрозия почв в Бурятской АССР и организация борьбы с ней.— Улан-Удэ, 1964, с. 201—210.

53. Шилин Б. В. Тепловая аэрофотосъемка при изучении природных ресурсов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1980.— 248 с.

54. Шумков И. Г. Речная аэрогидрометрия.— Л.: Гидрометеоиздат, 1982.— 208 с.

55. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979.— 232 с.

56. Чернов А. В. Геоморфология пойм равнинных рек.— М.: Изд-во МГУ, 1983.— 198 с.

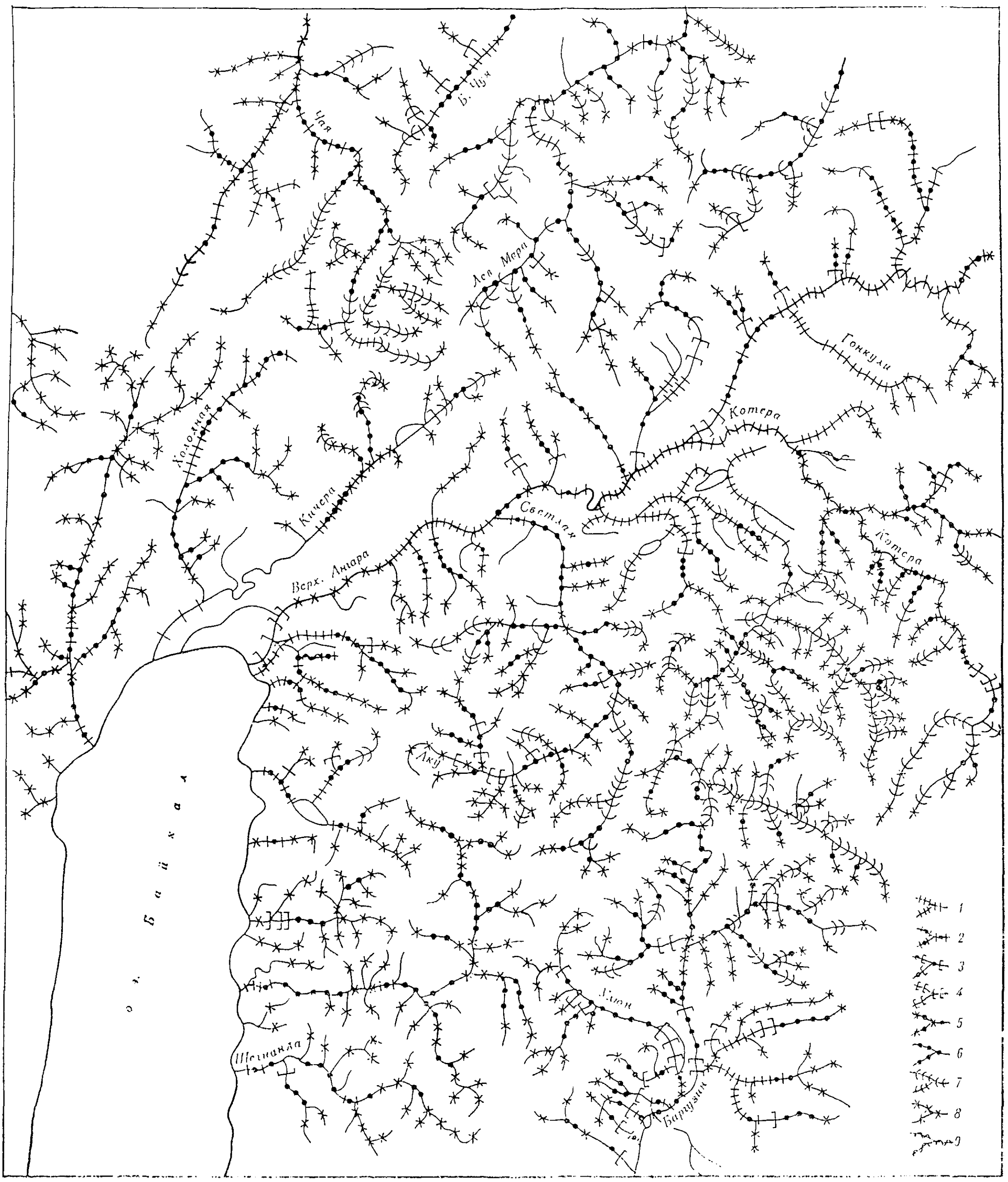
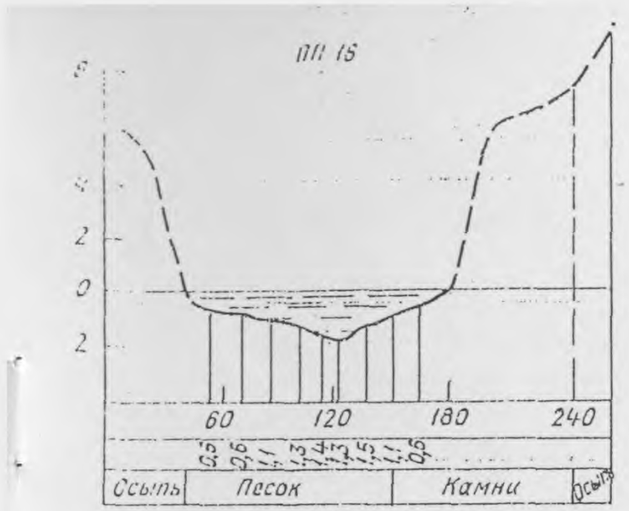
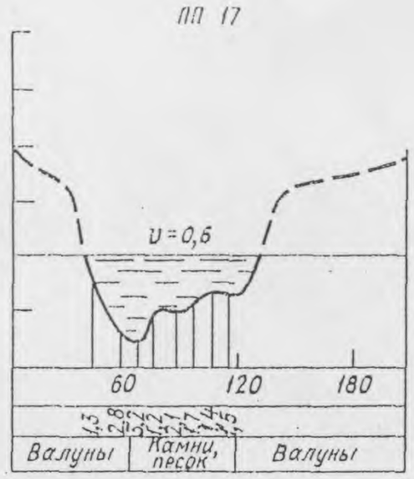
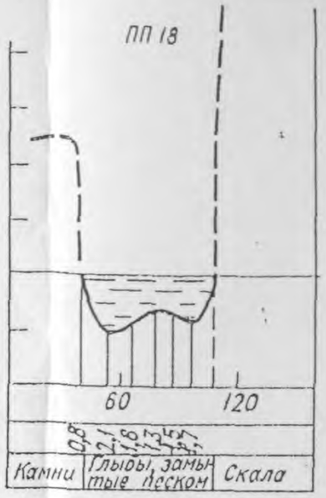


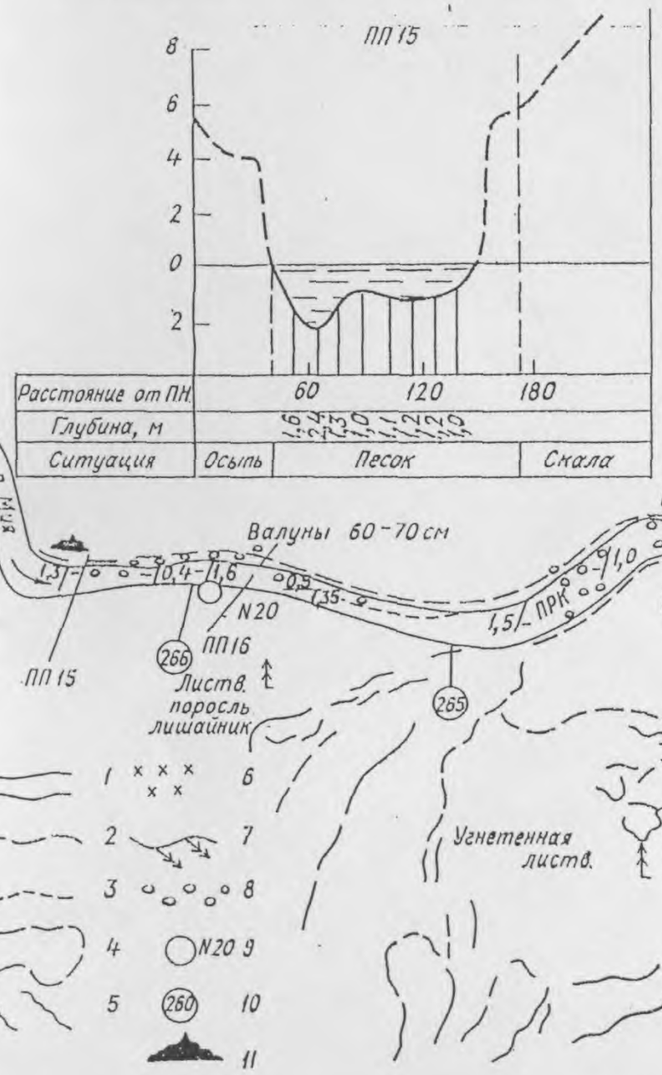
Рис. 4. Фрагмент карты-схемы типов руслового процесса на реках зоны БАМ.

1 — свободное меандрирование; *2* — незавершенное меандрирование; *3* — пойменная многорукавность; *4* — склоновая многорукавность; *5* — русловая многорукавность; *6* — горная русловая многорукавность; *7* — наледная многорукавность; *8* — вынужденное меандрирование; *9* — сток по мари.



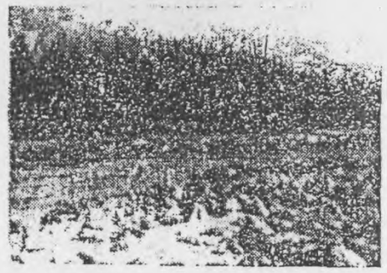














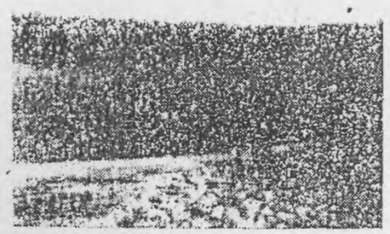








Рис. 7. Схема участка реки, полученная по материалам наземного обследования и аэрофотосъемки.

1 — контур русла; *2* — границы поймы; *3* — урез воды; *4* — контуры зарастающих стариц; *5* — гребни ленточных гряд; *6* — навалы деревьев; *7* — поваленные деревья вдоль подмываемых берегов; *8* — галька и валуны в русле и на пойме; *9* — места отбора фотопроб грунтов; *10* — расстояние от устья, *11* — скала; прк — перекат; 0,8/1,3 — значения соответственно поверхностных скоростей (м/с) и глубины потока (м); 3,0—3,5 — высота

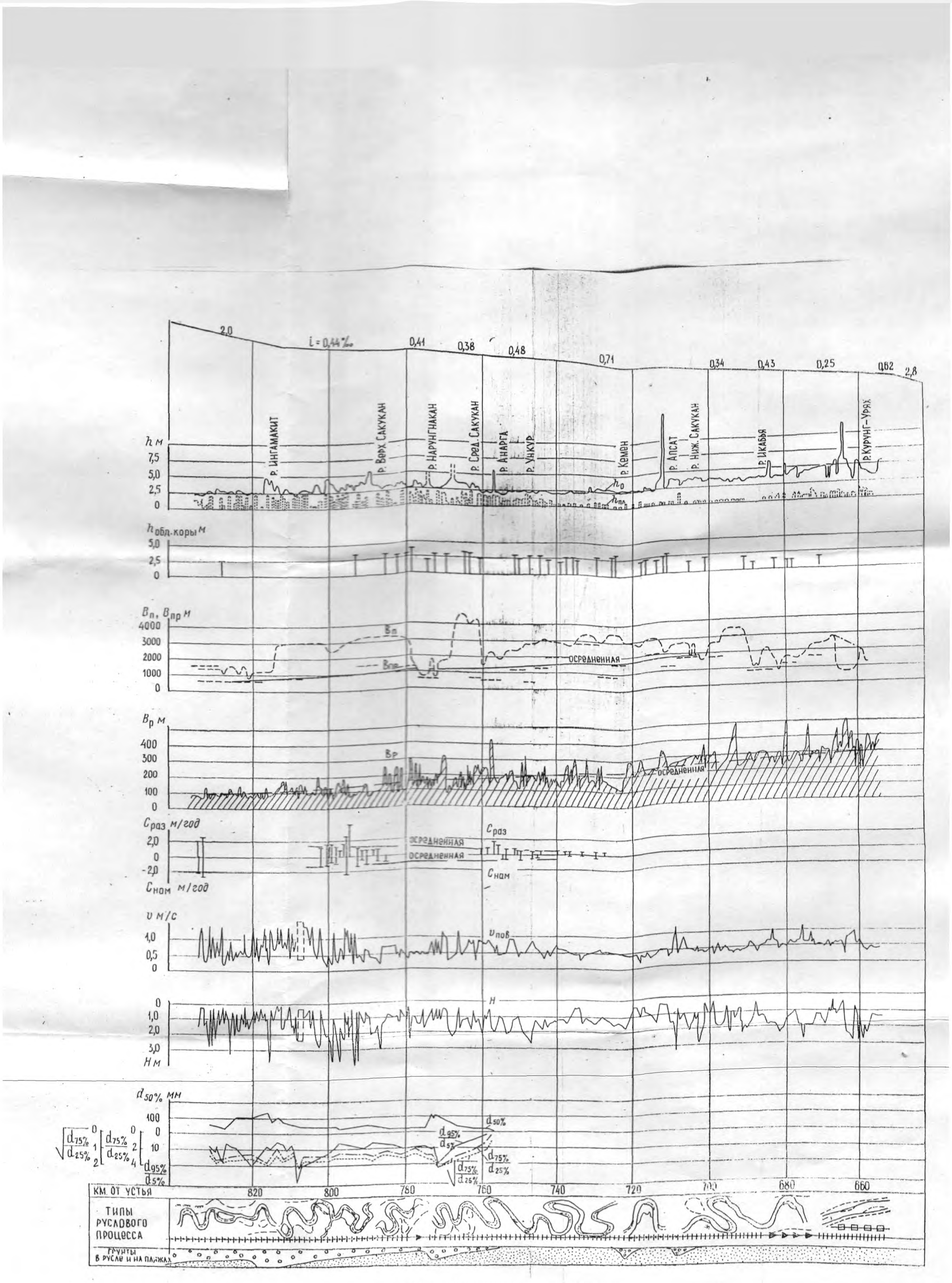


Рис. 8. Гидроморфологическая схема участка реки.

i — средний уклон водной поверхности, ‰; $h_б$ — высота подмываемых берегов, м; $h_{пл}$ — высота пляжей, м; $h_{обд.\ коры}$ — высота «обдиров» коры льдом на деревьях вдоль подмываемых берегов, м; $B_п$ — ширина поймы; $B_{пр}$ — ширина пояса руслоформирования, м; $B_р$ — ширина русла, м; $C_{раз}$, $C_{нам}$ — максимальные значения скорости плановых деформаций соответственно размыва и намыва, осредненные за период, м/год; $v_{пов}$ — поверхностная скорость течения воды, м/с; H — глубина потока, м; $d_{50\%}$ — диаметр частиц наносов 50 % обеспеченности на приверхах пляжей, мм; $d_{75\%}/d_{25\%}$ $\sqrt{d_{75\%}/d_{25\%}}$ — характеристики неравномерности крупности отложений.

gost.e-ecolog.ru