

**КОМИТЕТ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
МИНИСТЕРСТВА ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**Доклады секции русловых процессов
Научного Совета по проблеме
«Комплексное использование и охрана
водных ресурсов» ГКНТ**

Выпуск 3

**Проблемы гидравлики
и руслового процесса
горных рек**

**Санкт-Петербург
Гидрометеиздат
1992**

МОРФОДИНАМИКА РУСЛА р. АЛАБУГИ (КЫРГЫЗСТАН)

А. В. Панин, А. Ю. Сидорчук

Река Алабуга (площадь водосбора 5820 км², длина 180 км) – левый приток Нарына. Средний годовой сток воды на в/п Кош-Тобе (нижнее течение реки) за период 1959–1980 гг. составил 903 млн м³, максимальный измеренный расход за этот период – 280 м³/с, средний годовой сток взвешенных наносов – 2200 тыс. т, наибольший суточный расход наносов – 1500 кг/с, максимальная мутность воды – 56 кг/м³. Верхняя часть водосбора (2600 км²) расположена в пределах Арпинской котловины, где формируется около 70 % стока воды и 20 % стока взвешенных наносов. Затем река в узком и глубоком ущелье пересекает хр. Джаман-Тоо и на нижнем участке длиной 85 км, протекает по Средненарынской впадине. Сток воды на нижнем участке р. Алабуги увеличивается в 1,5 раза в соответствии с увеличением площади водосбора и сложности русловой сети. В то же время сток взвешенных наносов увеличивается по приближенным оценкам более чем в 3,5 раза, мутность воды на участке 56 км – устье – в 2,5 раза. Это свидетельствует об интенсивных эрозионных процессах на нижнем участке русла реки. Инструментальные наблюдения выявили аномально высокие скорости врезания: в районе Джергитальской насосной станции (40 км выше устья) только за 1983–1987 гг. река врезалась на 2,0 м. Возникающие при этом сложности эксплуатации гидротехнических и инженерных сооружений потребовали постановки специальных исследований.

Причины аномального поведения реки обусловлены историей развития долины и рельефа территории в целом. Средненарынская впадина до начала четвертичного периода испытывала длительное тектоническое прогибание. В расположенных здесь озерах накопилась мощная толща алевритов с прослоями песчаников, аллювиальных песков и галечников. В четвертичном периоде прогибание сменилось поднятием. Озера исчезли, и с конца среднего плейстоцена территория впадины дренируется долинами Нарына, Алабуги и их притоков. За это время Алабуга разработала широкую (до 4–4,5 км) долину, врезанную на 500–800 м в озерные алевриты и заполненную 100–150-метровой толщей плохо сортированного сцементированного галечно-валунного аллювия. Кровля этой толщи образует плоскую аллювиальную равнину, слабонаклонную вниз по течению и к современной долине реки. Геофизическими исследованиями обнаружено 5–6 погребенных врезов. Видимо, за последние 100–150 тыс. лет река неоднократно вырабатывала глубокую долину, а затем заполня

ла ее аллювием. Под влиянием дифференцированных тектонических движений каждый новый врез закладывался в стороне от предыдущего: так, на участке 55–64 км русло смещалось вправо, на участке 29–38 км – влево.

В поверхность аллювиальной равнины врезана современная долина Алабуги. Несовпадение ее положения с осью последнего вреза обусловило случайный характер изменения мощности древней аллювиальной толщи по длине долины: она максимальна на участках 43–53 км от устья (40–50 м) и 17–20 км (30–35 м), а на приустьевом участке длиной 14 км не превышает первых метров. Выше 55 км современная долина имеет облик каньона глубиной более 100 м и шириной 0,6–0,7 км, с крутыми террасированными бортами, на которых выделяется до 6–8 узких локальных террас. Каньон прорезает 10–20-метровую толщу древнего аллювия и на 80–100 м углубляется в алевриты. На участке 55–20 км мощность древнего аллювия по оси каньона составляет 30–50 м и долина приобретает двухъярусное строение (рис. 1). Террасы, приуроченные к подошве

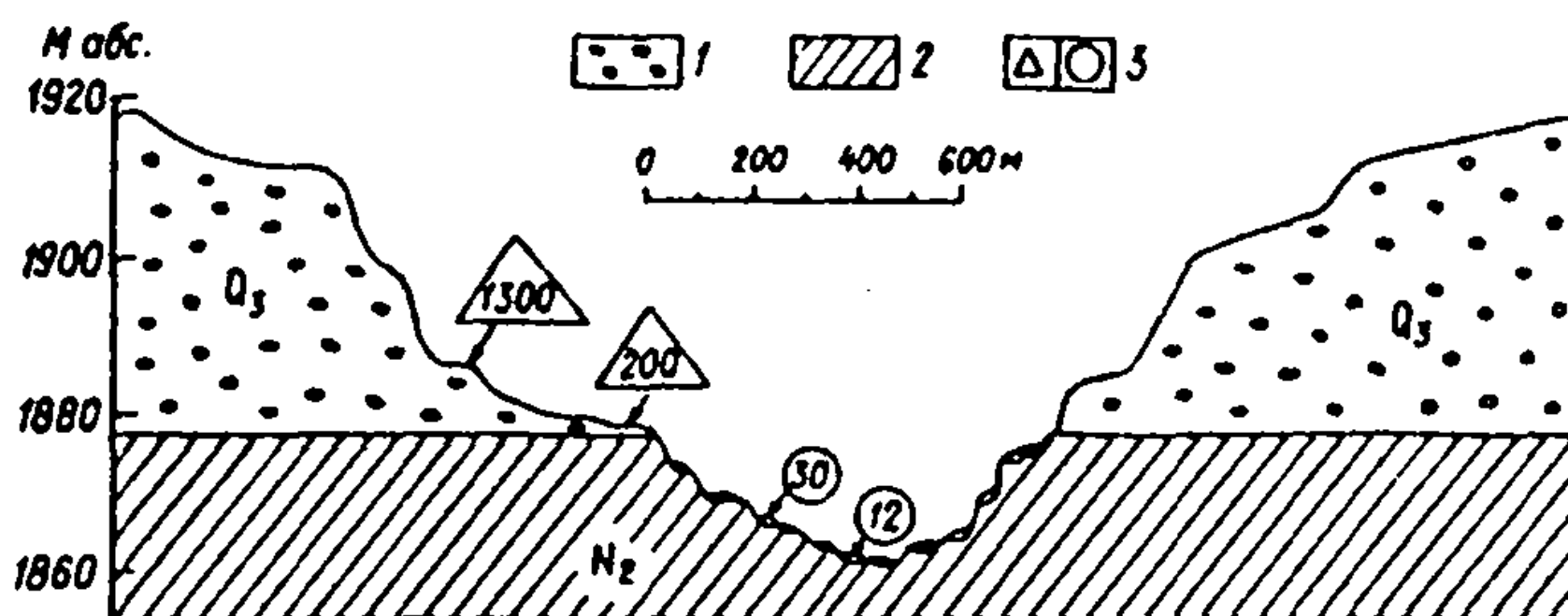


Рис. 1. Поперечный профиль современной долины р. Алабуга в 41 км от устья.

1 – галечно-валунный аллювий; 2 – озерные алевриты; 3 – возраст террас и поймы, определенный методами пустынного загара (а) и днедрохронологическим (б).

верхнечетвертичной аллювиальной толщи, становятся более широкими (до 200–250 м) и выдержанными вдоль долины (отдельные фрагменты протягиваются на 2–2,5 км). Террасы особенно хорошо развиты в четковидных расширениях долины (52,5–55; 43,5–47; ниже 30 км), где ее ширина достигает соответственно 1,0, 1,2 и 1,7 км. Между расширениями она уменьшается до 0,6–0,7 км. Мощность голоценового аллювия на площадках террас не превышает 2,0 м, местами на них сохранился гривистый рельеф.

В пределах алевритов, подстилающих древнюю аллювиальную толщу,

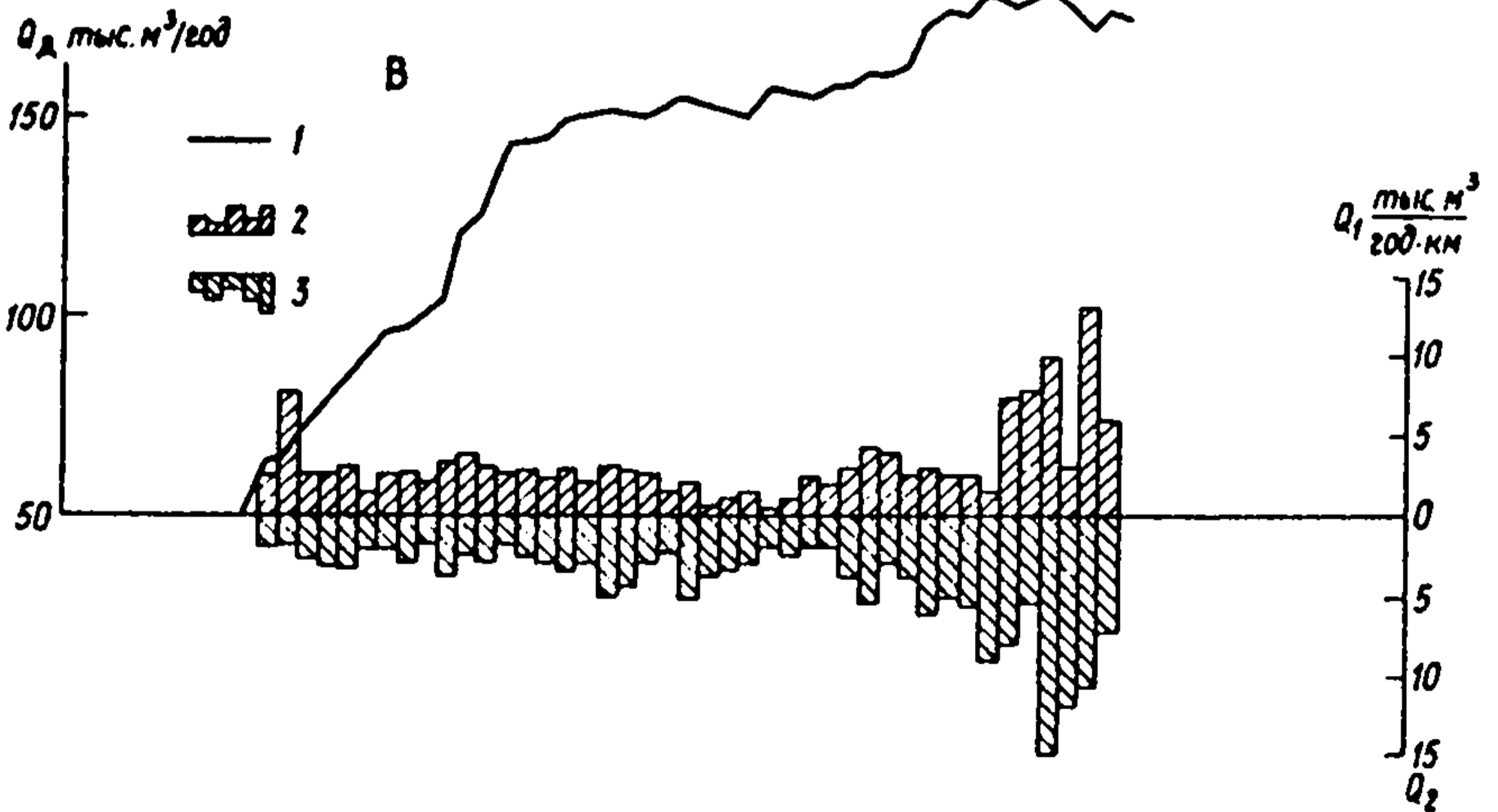
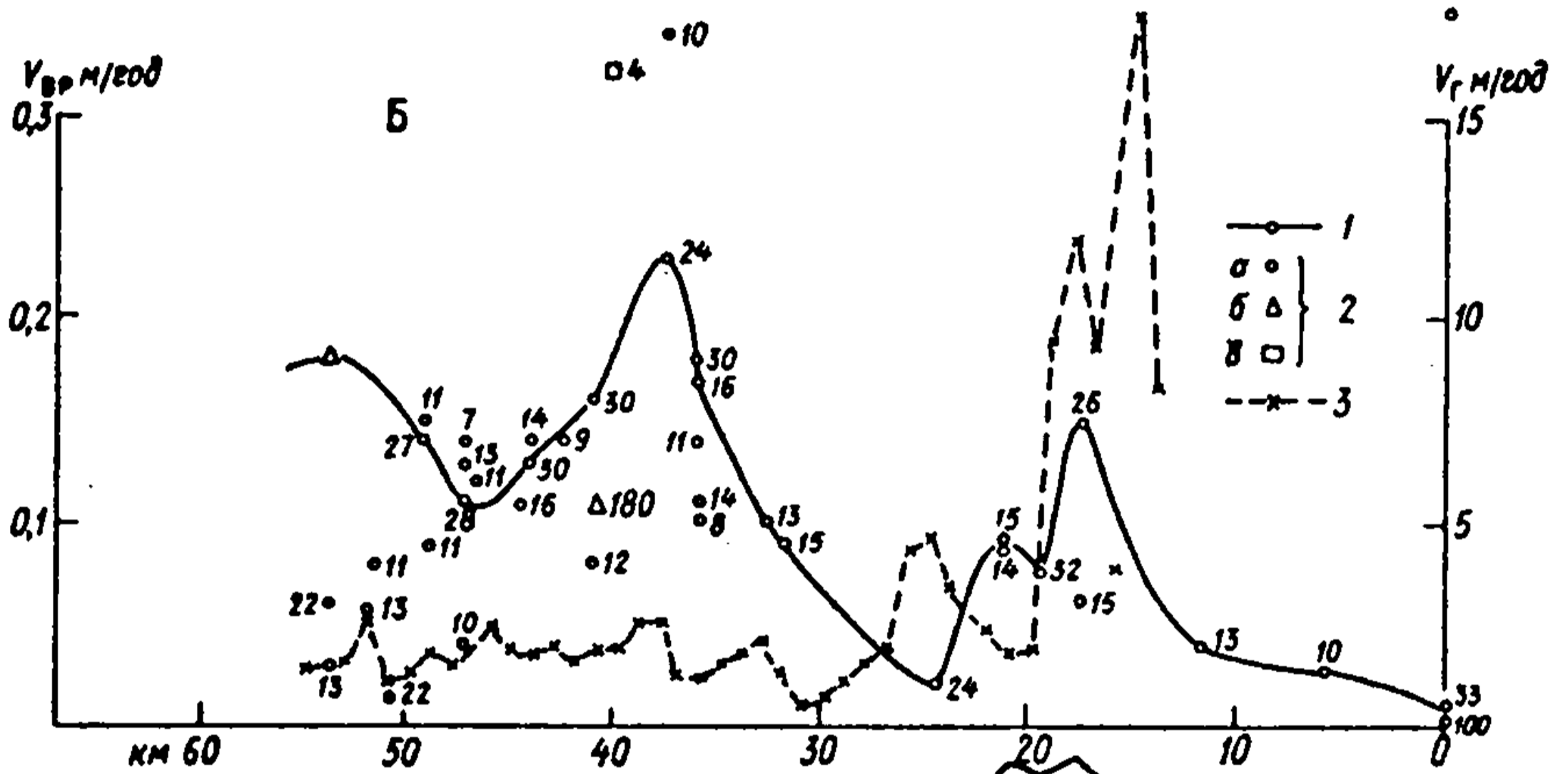
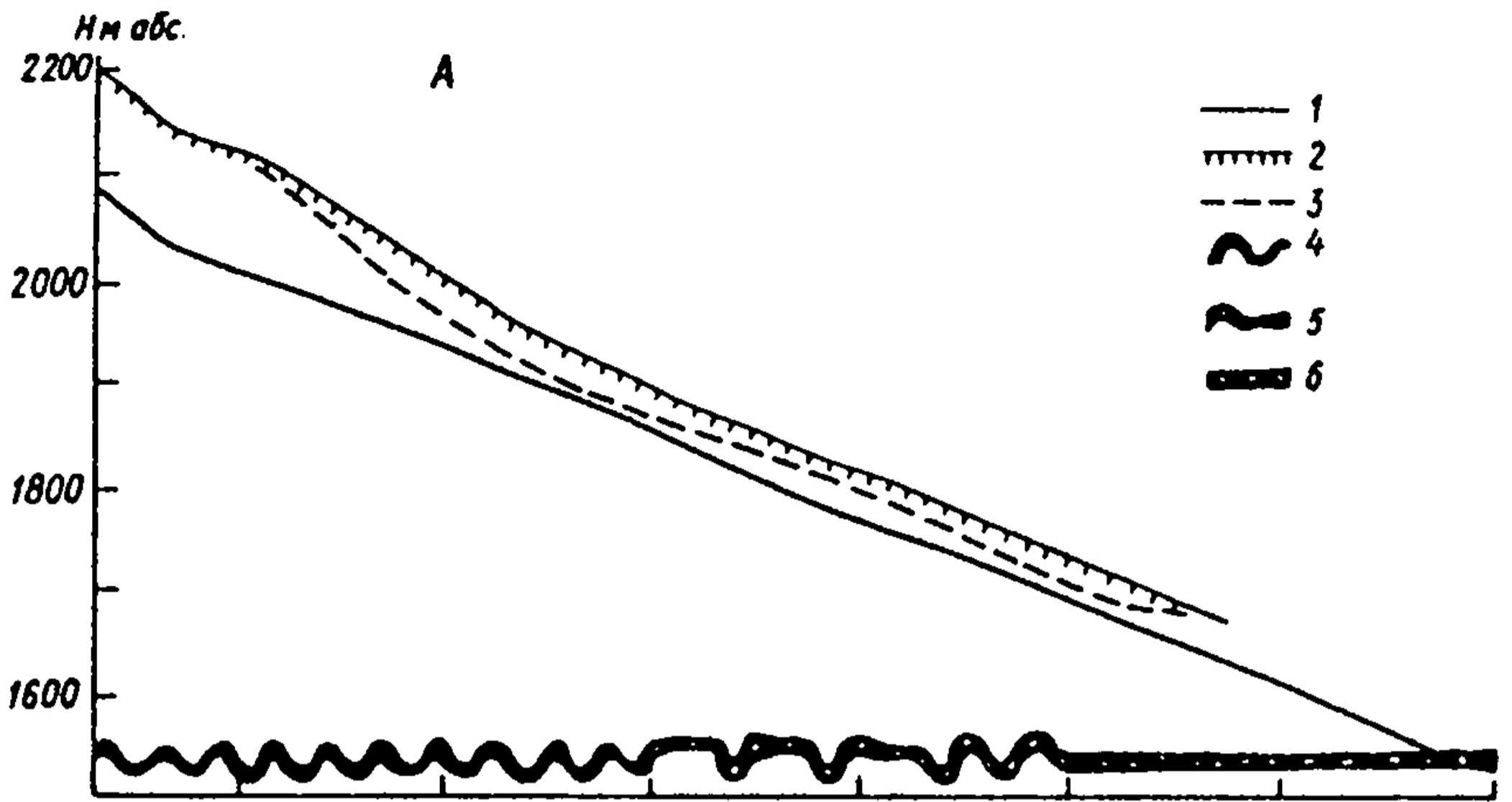
сохраняется каньонообразный врез. Ширина каньона 0,2–0,5 км, глубина уменьшается вниз по течению от 50–60 до 15–20 м. Террасы нижнего комплекса имеют цоколь из алевритов с маломощным (1–1,5 м) покровом инстративного галечно-валунного аллювия. В начале участка они неширокие, уровни часто расщепляются и выклиниваются, но ниже 41 км отдельные террасы имеют ширину до 200 м и выдержаны по длине на 1–1,5 км. Число террас на поперечнике обычно не менее 5–6. На пойме и террасах нижнего комплекса хорошо сохранился первичный русловой рельеф (гривы, ложбины, осередки), подобный современному по морфометрическим показателям.

Ниже 20 км долина приобретает ящикообразную форму с крутыми слаботеррасированными бортами и широким (до 1,0 км) днищем, занятым поймой и руслом Алабуги.

Свежий облик долинного рельефа, хорошая сохранность первичных русловых форм на площадках террас указывают на молодость внутреннего каньона Алабуги. Косвенные историко-археологические данные свидетельствуют, что еще несколько столетий назад каньонообразный врез отсутствовал, а русло реки было распластанным и достаточно мелководным [1]. Для установления темпов врезания было привлечено несколько методов. Современные скорости врезания (за 4–100 лет) определялись дендрохронологическим, инструментальным и картографическим методами, для более длительных промежутков времени (200–1300 лет) использовался метод измерения толщины корки пустынного загара.

В террасовом комплексе в 41 км от устья возраст 26-метровой террасы оказался равным порядка 1300 лет, возраст 20-метровой террасы – 200 лет. Таким образом, скорость врезания в древний галечно-валунный аллювий при формировании уступа 26-метровой террасы составила 0,5 см/год. В ходе дальнейшего врезания русло достигло подстилающих озерных алевритов и скорость врезания резко увеличилась: в период формирования уступов 19-, 12- и 8-метровой террас она составила 9 см/год, а за последние 30 лет – 27 см/год. Экстраполяция скоростей врезания в пределах древнего аллювия дает оценку времени начала врезания в поверхность аллювиальной равнины 7–8 тыс. лет назад.

Современные скорости врезания изменяются по длине русла. Выделяются два их максимума (рис. 2); на участке 37–40 км (22–26 см/год) и 15–19 км (14–15 см/год). В узле слияния с Нарыном врезание Алабуги происходит со скоростью 0,4–0,9 см/год, на участке 24–26 км – 1,2 см/год. Такое распределение современных скоростей врезания по длине реки связано с формой продольного профиля. Ниже 63 км продольный профиль русла в целом прямолинейный (рис. 2 А), но фиксируются отдельные его ступени, связанные в основном с литологией коренных пород. Выхо-



ды маломощных прослоев более прочных песчаников в толще легкоразмываемых алевритов образуют пороги и целые участки повышенных уклонов водной поверхности, на которых увеличиваются скорости врезания.

Темпы и характер горизонтальных деформаций определены при совмещении карт масштаба 1:10 000 и 1:25 000 съемки 1967 и 1979 гг. По километровым участкам были измерены площади размыва берегов и площади аккумуляции наносов в русле, изменение длины русла за 12-летний период, максимальные скорости размыва берегов составляли 2–5 м/год на участке 60–30 км от устья, 5–15 м/год – на участке 30–20 км и увеличиваются до 25–30 м/год на устьевом участке. Размыву подвергаются в основном современные русловые формы, пойма и низкие террасы (рис. 2 Б). Реже – это уступы высоких террас и коренные берега с мощной толщей древнего аллювия. Полное отсутствие аллювиальных форм в русле Алабуги на участке непосредственно ниже каньона в хр. Джаман-Тоо указывает на пренебрежимо малое количество влекомых наносов, поступающих из Арпинской котловины. Сток влекомых наносов на нижнем участке русла Алабуги формируется при переработке аллювия террасового комплекса долины в ходе размыва берегов и овражной эрозии. Поступление наносов в русло за счет размыва берегов оценивалось на основе измерения площадей размыва с учетом мощностей аллювиальных отложений (современных и древних) в пределах зон размыва. Основная часть стока влекомых наносов формируется за счет выносов из оврагов в ходе их врезания в поверхность аллювиальной равнины и разрушения толщи древнего аллювия. Для ее определения были подсчитаны объемы древнего аллювия во всех эрозионных врезках и сделано допущение, что заложение эрозионных форм длиной менее 1–1,5 км связано с началом ускоренного врезания реки в алевриты (порядка 200 лет назад). Это допущение основывается на том, что все овраги имеют резко невыработанный продольный профиль, V-образный поперечник, крутые, местами отвесные борта. Для более крупных оврагов по форме

Рис. 2.А. Продольный профиль и типы русла р. Алабуги.

1 – продольный профиль (по оси долины); 2 – бровка аллювиальной равнины; 3 – подошва верхнечетвертичной аллювиальной толщи; типы русла: извилистое (4), осередково-извилистое с прямолинейными вставками (5), осередковое (6).

Б. Темпы русловых деформаций: 1 – современные скорости врезания $V_{вр}$, осредненные за 15–20 лет; 2 – локальные скорости врезания, полученные дендрохронологическим методом (а), методом пустынного загара (б) и инструментальным методом (в) (цифрами обозначено время осреднения); 3 – скорости размыва берегов V_r , осредненные за 12 лет по километровым отрезкам русла.

продольного профиля оказалось возможным определить положение тальвега перед началом ускоренного врезания, и объем вреза подсчитывался только для последнего 200-летнего периода.

Полученные объемы поступления галечно-валунного материала за счет горизонтальных деформаций русла и овражных выносов в пересчете на 1 год позволили построить кривую изменения стока влекомых наносов по длине русла (рис. 2 В). Форма интегральной кривой зависит от плотности овражного расчленения на том или ином отрезке долины и поэтому носит случайный характер.

Русло Алабуги ниже впадения р. Пчан-горное, с развитыми аллювиальными формами по [2]. Выделяется три однородных морфологических участка: 1) извилистый, с врезанными излучинами (66–42 км); 2) извилисто-прямолинейный, с врезанными излучинами и прямолинейными отрезками, с побочными (42–20 км); 3) прямолинейный, с осередками (20–0 км). Извилистый участок, в свою очередь, делится на три отрезка по морфологии и характеру развития излучин, доле прямолинейных отрезков. При этом излучинами считались изгибы русла, для которых параметр S/λ (отношение длины по руслу S к шагу λ) не менее 1,15, так как в противном случае изгиб не оказывает существенного влияния на динамическую структуру потока и не проявляется в рельефе русла. Распределение характерных параметров излучин представлено на рис. 3.

На участке 66–62 км, в условиях незначительного количества крупнообломочного аллювия в русле и больших уклонов по оси долины (в среднем 10,4 %) формируются крутые врезанные излучины, имеющие в плане синусоидальную или сундучную форму. Пойма и отмели в русле отсутствуют. Вершины излучин вдаются в коренные борта долины, террасовые лестницы в шпорах поднимаются до относительных высот 30–35 м. Характер террасовых лестниц позволяет говорить об обычном продольном и поперечном развитии излучин, соотношение которых, однако, слабо связано со степенью развитости форм. Извилистость русла составляет 1,41 (при максимальном значении 1,94), средний шаг излучин – 325 м.

На участке 62–53 км уклоны уменьшаются (6,4 % по оси долины), а русло лишь только начинает насыщаться наносами за счет выноса из левобережных оврагов; извилистость уменьшается до 1,1 (максимум 1,47). Излучины разделены прямолинейными отрезками, протяженность которых составляет 55 % общей длины русла. Средние размеры излучин сохраняются (335 м), но возрастает разброс размеров индивидуальных форм. Отчасти это связано с тем, что 6 излучин из 10 привязаны к устьям оврагов и их размеры определяются объемами овражных выносов. За период 1967–1979 гг. отмечается небольшое увеличение извилистости (на

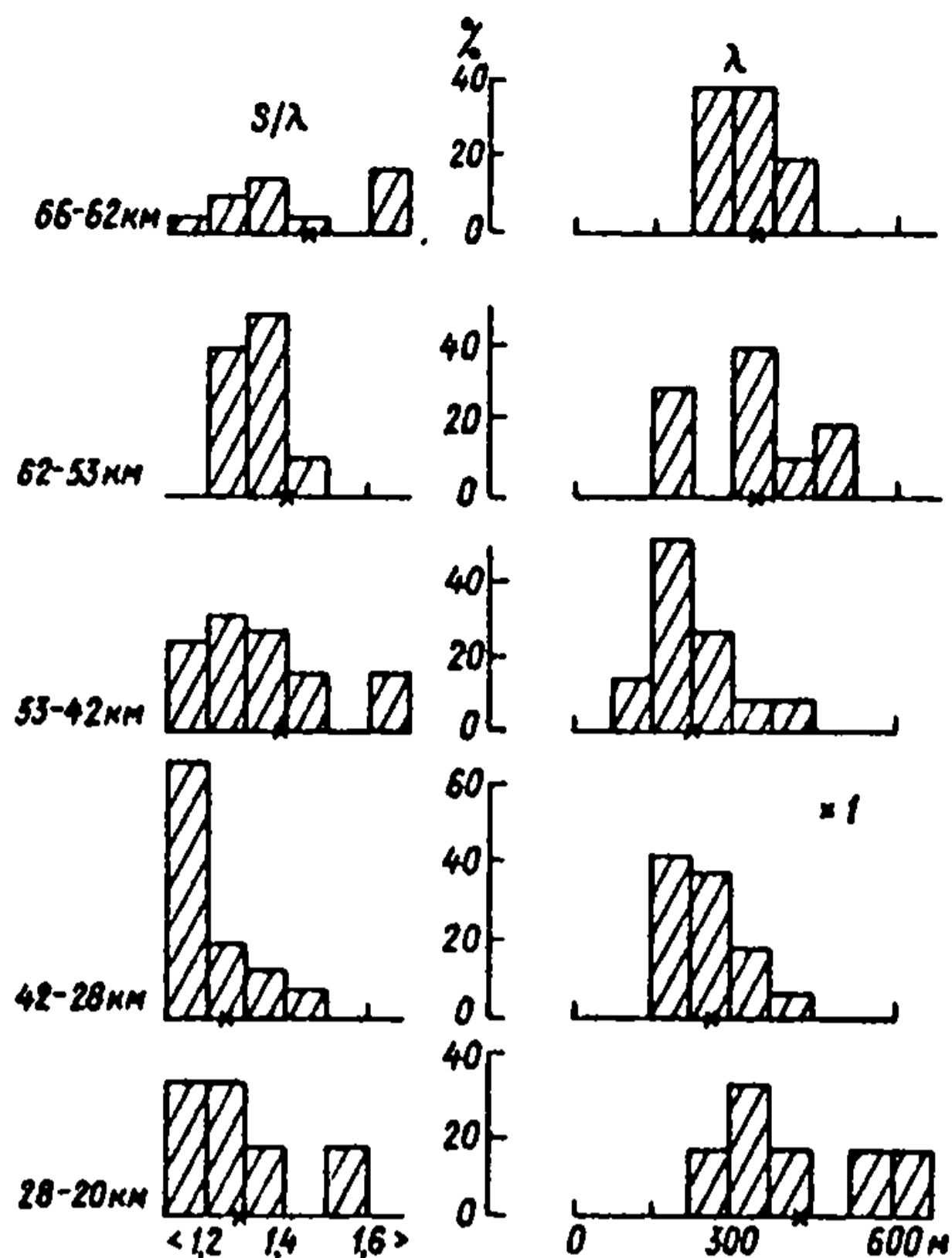


Рис. 3. Гистограммы распределения параметров излучин.

λ — шаг излучин, км; S/λ — степень развитости излучин, l — средние значения параметров.

отрезке 56–53 км коэффициент извилистости увеличился на 0,050). Основным определяющим фактором горизонтальных деформаций выступает сложившаяся геометрия, а также изменение плановой конфигурации форм русла, при котором изменяется характер отражения потока от берегов. Размыв вершинных частей излучин приводит к увеличению угла выхода и размыву выпуклого берега в нижних крыльях. Верхние крылья в большинстве случаев стабильны. Развитие прямолинейных вставок обусловлено динамикой вышележащих излучин. Здесь наблюдается как увеличение кривизны начальных изгибов, так и их спрямление, а также параллельное смещение целых отрезков русла. В русле формируются отдельные побочни, смещение которых вниз по течению на отдельных участках определяет характер развития берегов. Расположение фрагментов поймы и лестницы террас указывают на преимущественно поперечное смещение излучин. Максимальные скорости размыва берегов за 12 лет составляют 4–4,5 м/год.

На участке 53–42 км извилистость увеличивается до 1,28, а доля прямолинейных отрезков падает до 34 %. Излучины имеют самую разнооб-

разную конфигурацию и группируются в серии по 3–10 форм. Сток влекомых наносов (85 тыс. м³/год в начале участка и 150 в конце) становится достаточным для формирования нешироких пляжей и побочней на выпуклых берегах излучин, единичных осередков. Размеры излучин уменьшаются (средний шаг 225 м), а степень развитости варьирует в широких пределах (от 1,16 до 2,50). В верхней половине участка излучины сползают вниз по течению со скоростью до 3,0 м/год. Отмечаются случаи подрезания выпуклого берега и даже спрямления излучин за счет заполнения наносами плеса в вершине у вогнутого берега. В серии из 10 меандров на 44–47,5 км верхние четыре излучины сползают вниз по течению со скоростью до 3,5 м/год, следующие пять смещаются вверх (две – полностью и три – только нижними крыльями), а последняя излучина опять сползает вниз. Развитие серии напоминает сжимающиеся и разжимающиеся меха гармони. Этому способствует слабая противозрозионная устойчивость коренных пород: любое увеличение угла подхода потока, вызванное изменением радиуса кривизны изгиба, случайной выбоиной в берегу или скоплением аллювия, немедленно вызывает размыв берега и изменение конфигурации русла ниже по течению. Разнонаправленное смещение крыльев излучины препятствует увеличению ее кривизны, а также является одним из возможных механизмов формирования прямолинейных отрезков русла. Но в целом с 1967 по 1979 г. коэффициент извилистости русла увеличился на 0,060.

На переходном участке 42–28 км извилистое русло начинает замещаться прямолинейным (общий коэффициент извилистости участка 1,13, доля прямолинейных отрезков русла – 70 %). При годовом стоке влекомых наносов порядка 150–160 тыс. м³ возрастает количество крупных побочней и небольших осередков, что приводит на отдельных участках к заметному ускорению горизонтальных деформаций: максимальные темпы отступления берегов достигают 8–9 м/год. Однако на протяженных отрезках прямолинейного русла русловые формы отсутствуют, и скорости горизонтальных деформаций уменьшаются в 2–3 раза. Механизм размыва берегов здесь связан не с развитием излучин, а с движением скоплений аллювия в русле в виде побочней и осередков, отбивающих поток к противоположному берегу. Видимо, при малых скоростях врезания реки, уклоне днища долины 8,6 % и стоке влекомых наносов 150–160 тыс. м³ в год здесь сформировалось бы прямолинейное русло со смещающимися вниз по течению побочнями и осередками. Однако катастрофические скорости врезания (10–20 см/год) приводят к формированию отдельных излучин. За 2–3 года побочень превращается в пойму, а за 10–20 лет в террасу, и дальнейшее развитие морфологии этого отрезка русла определяется наличием врезанной излучины. Излучины имеют средний шаг

255 м, смещаются как вдоль, так и поперек долины, их развитость s/λ составляет в среднем 1,23, максимальная 1,47. Тем не менее здесь часто происходит заполнение побочными вогнутых берегов излучин и локальное спрямление русла. За период 1967–1979 гг. средняя извилистость участка практически не изменилась.

На участке 28–20 км резко возрастают размеры и количество осередков. В то же время, быстрое врезание реки стимулирует отмирание побочневых и русловых протоков и превращение крупных форм в пойму. Формирующиеся при этом отдельные излучины отличаются небольшой кривизной (до 1,52) и максимальными размерами на всем протяжении реки (средний шаг $\lambda = 425$ м, максимальный – 630 м). Возрастают темпы горизонтальных деформаций: максимальные темпы отступления берегов составляют 10–10,5 м/год.

Ниже 20 км русло окончательно трансформируется в прямолинейное осередковое (сток влекомых наносов в начале участка составляет 190–200 тыс. м³/год). Максимальные скорости размыва берегов достигают здесь 25 м/год и более. Темпы горизонтальных деформаций на два порядка и более превышают скорости врезания реки, и хотя последние остаются достаточно высокими, причленение русловых форм к берегу не приводит к образованию излучин, так как пойменный массив размывается потоком до момента превращения его в террасу.

Большая ширина днища ящикообразной современной долины Алабуги на этом участке (350–500 м и до 1 км) привела к формированию сложного комплекса русловых форм. Основным элементом являются побочники и осредки с шагом 50–150 м, характерным для аккумулятивных форм на всем протяжении Алабуги. Однако они объединяются в массивы длиной 500–600 м, которые, в свою очередь, формируют сложные ленточные гряды с шагом 2,4 км, состоящие из компактного массива малых гряд, примыкающих к одному из берегов, и нижележащей россыпи осередков в русле, которые расчлененной протоками перекошенной грядой пересекают его и примыкают к противоположному берегу. Сложный русловой рельеф, высокие темпы русловых горизонтальных переформирований, разбросанное русло – все это придает р. Алабуге на этом участке черты типичной горной реки бассейна Нарына.

Таким образом, р. Алабуга в пределах Средненарынской впадины по многим характеристикам представляет собой уникальное явление. Сочетание горного рельефа территории, больших уклонов реки с легко размываемыми коренными породами, слагающими ее долину, привело к катастрофическим средним скоростям однонаправленного врезания реки за последние 200 лет развития ее русла – 10–20 см/год. Сложное строение бассейна реки – две котловины, разделенные прорезаемым рекой хребтом,

привели в современных климатических условиях к практически полному отсутствию поступления влекомых наносов из верхней котловины в нижнюю. А так как водосбор в пределах нижней котловины сложен озерными алевритами, влекомые галечно-валунные наносы могут поступать в реку только в ходе перемыва и эрозионного размыва ее собственных аллювиальных отложений в долине. Увеличение стока влекомых наносов по длине реки при одинаковых уклонах дна долины и водности потока привело к закономерному изменению морфологии русла и руслового режима реки. В области абсолютного дефицита наносов сформировалось меандрирующее русло; большие скорости врезания реки обусловили развитие врезанных излучин с характерной скоростью горизонтальных деформаций 4–5 м/год. В области относительного насыщения потока влекомыми наносами (до среднегодового удельного расхода примерно 0,5 км/с·м) стала возможной аккумуляция наносов, формирование побочней в прямолинейном русле; однако большие скорости врезания приводят к развитию отдельных врезанных излучин на базе наименее подвижных побочней. Наличие влекомых наносов в русле не препятствует высоким скоростям врезания реки: при формировании отмытки происходит быстрый размыв берегов (до 10 м/год) и врезание русла в коренные алевриты в стороне от бронирующей толщи аллювия. В области расширения днища долины и возникновения условий для более интенсивной аккумуляции наносов сформировалось прямолинейное осередковое русло с большими скоростями горизонтальных переформирований (до 25 м/год) в пределах русловых и прямолинейных образований. Скорости вертикальных деформаций здесь замедлены из-за близости базиса эрозии – р. Нарына, хотя локально также достигают катастрофических значений – 12–15 см/год.

Современная морфодинамика русла Алабуги в главных своих чертах определяется историей развития рельефа долины и водосбора реки. При этом важную роль играют случайные пространственно-временные сочетания определяющих русловые процессы геолого-геоморфологических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин А. В., Сидорчук А. Ю., Чалов Р. С. Пример катастрофических скоростей формирования флювиального рельефа (р. Алабуга, Центральный Тянь-Шань)// Геоморфология. – 1990. 2.
2. Чалов Р. С. Географические исследования процессов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 232 с.