

**МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 551.4.012 : 551.24 : 551.312.3(235.132)

С. К. ГОРЕЛОВ, С. Т. ТАГИЕВ, С. С. ЧЕЛПАНОВ

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ  
НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДВИЖЕНИЯМИ ЗЕМНОЙ КОРЫ  
И РАЗВИТИЕМ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ  
В ЦЕНТРАЛЬНОМ КОПЕТДАГЕ**

По данным систематических инструментальных наблюдений, в Центральном Копетдаге развитие современных русловых процессов происходит гораздо интенсивнее движений земной коры. Русловой эрозионно-аккумулятивный процесс носит ясно выраженный знакопеременный характер, обусловленный особенностями гидрологического режима рек. Влияние движений земной коры сказывается лишь на тенденции развития руслового процесса — преобладании эрозии на участках современных поднятий земной поверхности и аккумуляции речных отложений на участках ее опускания.

При разработке проблемы взаимодействия эндогенных и экзогенных сил большое значение приобретают систематические точные инструментальные наблюдения за движениями земной коры и экзогенными процессами в различных морфоструктурных и климатических зонах. Эти исследования, образно выражаясь, позволяют «заглянуть» в механизм процесса современного взаимодействия эндогенных и экзогенных сил и тем самым подойти к решению коренной проблемы геоморфологии. Важное место в подобных наблюдениях, безусловно, занимает сравнительный анализ вертикальных движений земной коры и русловых процессов, так как хорошо известно, что тектонические движения сыгнали ведущую роль в формировании речной сети многих равнинных и горных территорий. К сожалению, в литературе почти отсутствуют данные инструментальных наблюдений, систематически осуществляемых с целью точного сравнительного анализа скорости и тенденций развития эндогенных и экзогенных процессов. Такое положение, несомненно, затрудняет разработку общей теории геоморфологического анализа.

Авторы статьи в течение нескольких лет изучали связи между современными вертикальными движениями земной коры и русловыми процессами в различных районах Центрального Копетдага с применением инструментальных методов исследования. Ниже излагаются основные методы и результаты проведенных исследований.

Систематические наблюдения за развитием русловых процессов проводились в долинах речек Кельты-Чинор, Чули (Алты-Яб), Секиз-Яб, Келята (Мегин-Су). Длина этих речек достигает 25—35 км, а максимальная ширина русла на участках плесов 20—40 м. Все речки имеют хорошо выработанные продольные профили и постоянное тече-

ние, которое питается в основном подземными водами. Весной или осенью проходят один—два больших, но кратковременных дождевых паводка. В остальное время года расход воды в речках устойчивый, колеблется в пределах 0,61—0,68 м<sup>3</sup>/сек (среднегодовые расходы воды в нижнем течении р. Чули, Кирста, 1958). Эти обстоятельства в целом способствуют выявлению тектонических деформаций речных русел, так как благодаря подземному питанию малых рек Копетдага изменения климатической обстановки не оказывают большого влияния на распространение эрозии и аккумуляции по русловой системе. С другой стороны, высокая степень современной тектонической активности данной территории создает дополнительную общую предпосылку для «ощутимой» оценки роли тектонического фактора в сложном процессе формирования профиля реки.

Долины рек прорезают все основные горные хребты и межгорные впадины советской части Центрального Копетдага, выходя своими низовьями на подгорную равнину. В высокогорных районах Копетдага на участках хребтов-антиклиналей большинство долин приобретает каньонообразную форму, тогда как в межгорных впадинах-синклиналях долины расширяются и хорошо террасированы.

Инструментальные наблюдения за русловыми процессами сводились к повторным (1—2 раза в году после влажного и сухого периодов года) нивелированиям поперечных профилей русла. С 1966 по 1972 г. было проведено до 10—12 измерений на отдельных участках русла при 6-кратном среднем «опросе» скорости и направленности руслового процесса. Створы наблюдений были закреплены на местности металлическими трубами в левой и правой частях долины. Измерения осуществлялись нивелиром «Кони» вдоль горизонтальной стальной нити с интервалами постановки рейки 0,2—0,5 м в зависимости от ширины русла. Геодезическая оценка точности наблюдений с учетом ошибки на установку рейки составила  $\pm 2$  см.

В долинах упомянутых выше рек было заложено 115 профилей с интервалом от 50 м до 0,5—1 км. Местоположение профилей выбиралось с учетом структурно-геоморфологических особенностей территории, признаков проявления голоценовых движений земной коры и расположения геодезических реперов на линиях повторного нивелирования (рис. 1). Признаки голоценовых поднятий и опусканий территории были выявлены в основном в результате детального геоморфологического картирования речных долин и изучения тектонических деформаций позднплейстоценовых и голоценовых террас.

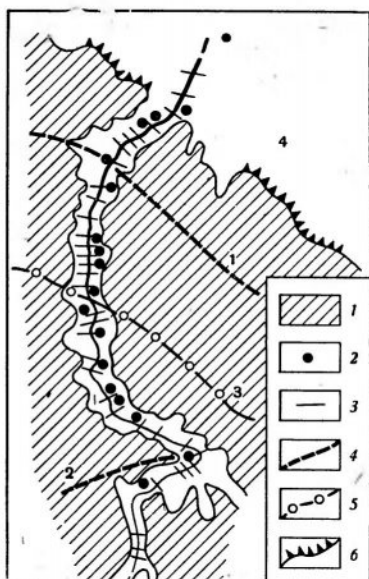
Параллельно с повторным нивелированием поперечных профилей русла проводились визуальные и полунструментальные наблюдения за деформациями русла и развитием русловых процессов и гравитационных процессов на бортах долины между профилями (изменение характера влекомых и взвешенных наносов, возникновение и перемещение уступов русла, образование обвалов, осыпей и т. п.). Это позволило получить дополнительный материал для суждения о развитии процессов формирования русла и рельефа прирусловой зоны.

Проводились наблюдения за стоком речных наносов. Они осуществлялись путем постановки в течение 1 часа в средней части створа русла специально сконструированного улавливателя влекомых и взвешенных наносов. Он имеет форму прямоугольного металлического ящика с выдвижной передней стенкой для забора воды и грунта и с решетчатой задней стенкой для спуска воды. Площадь входного отверстия составляет 1,5 м<sup>2</sup> при сечении отверстий в задней стенке ящика 0,5 см. Отверстия расположены в верхней части задней стенки, что обеспечивает спуск воды и одновременную задержку поступающих наносов. Наряду с улавливанием наносов измерялись скорости течения воды.

Данные о современных вертикальных движениях земной поверхности были получены в процессе многократного нивелирования I класса. Геодезические и геоморфологические наблюдения совпадали во времени. В долинах Чули и Секиз-Яб линии повторного нивелирования проложены вдоль русла, а репера закреплены в основном в монолитных скалах, что благоприятствовало точному сопоставлению результатов наблюдений и по существу сняло вопрос об устойчивости геодезических знаков. Результаты геоморфологических и геодезических наблюдений обобщались путем построения комплексных про-

Рис. 1. Схема размещения геодезических реперов и профилей инструментальных наблюдений за русловым процессом в нижнем и среднем течении р. Чули.

1 — Копетдаг; 2 — местоположение скальных реперов линии повторного нивелирования; 3 — местоположение поперечных инструментальных профилей русла; 4 — направление осевых линий антиклинальных хребтов; 5 — то же, синклинальных понижений; 6 — главный уступ Копетдага. Цифры на схеме: 1 — ось Маркоусской антиклинали; 2 — Душакской антиклинали; 3 — Ванновской синклинали; 4 — Предкопетдагский краевой прогиб



филей (рис. 2), которые были составлены для каждой долины. При этом возникла необходимость в дополнительном обобщении результатов наблюдений за русловыми процессами в целях удобства их сопоставления с данными о движениях земной поверхности. Это было достигнуто путем раздельного суммирования величин эрозии русла и накопления русловых отложений на каждом створе с последующим определением разницы между этими данными. Полученные таким образом данные — показатели господствующей тенденции развития русла были использованы в дальнейшем для построения эрозионно-аккумулятивных кривых.

Процесс деформации русла копетдагских рек протекает неравномерно. Сопоставление поперечных профилей русла за различные периоды выявляет общую картину направленного проявления эрозии и аккумуляции, а также факты существенной миграции участков глубинной эрозии и аккумуляции русловых отложений вдоль профиля до полного замещения одних участков другими в отдельные периоды года (рис. 3). Этот процесс происходит на отрезках русла, сложенных древнеаллювиальными толщами; на редко встречающихся выходах коренных пород заметных изменений поперечного профиля русла, превышающих ошибки измерений, обнаружено не было. Не было также установлено ощутимой связи между движениями земной коры и боковой эрозией рек, ввиду чего эта особенность руслового процесса в дальнейшем не рассматривается.

Суммарные максимальные величины глубинной эрозии рек и аккумуляции речных отложений за отмеченный выше период наблюдений составили до 150—200 см (средние величины порядка 60—80 см),

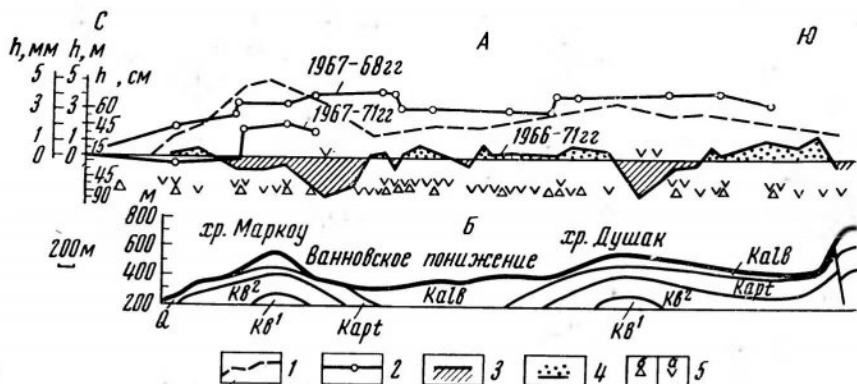


Рис. 2

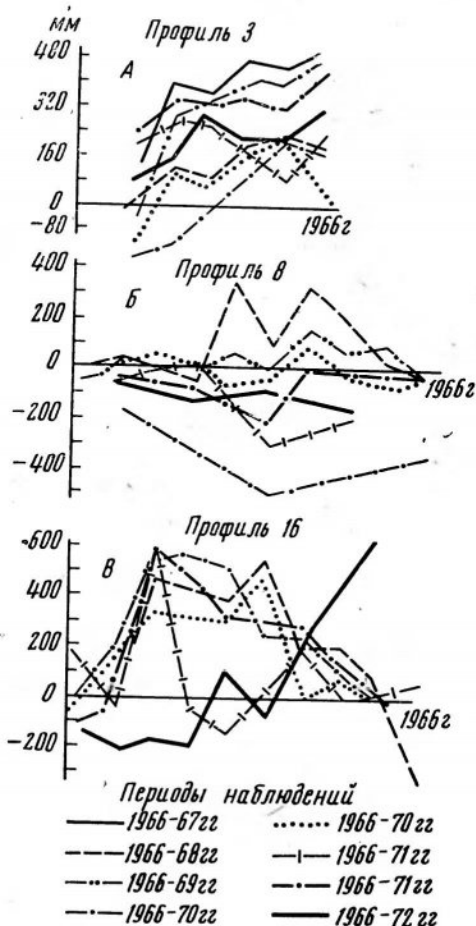


Рис. 3

Рис. 2. Комплексный профиль долины р. Чули в среднем и нижнем течении.

А — профиль долины; Б — схематический морфоструктурный профиль вдоль левобережья р. Чули. 1 — кривая амплитуд позднеголоценовых движений (м); 2 — кривые изменения высот земной поверхности на линии повторного нивелирования (мм); кривая эрозивно-аккумулятивных изменений профиля русла (см); 3 — участки преобладающего врезания, 4 — преобладающей аккумуляции русловых отложений; 5 — пункты наблюдений (а — геодезические репера, б — створы русла)

Рис. 3. Изменение поперечных профилей русла р. Чули с 1966 по 1972 г.

А — участок русла в крайнем Предкоптедгагском прогибе; Б — в своде Маркоусской антиклинали; В — в пределах Ванновской синклинали

г. е. оказались весьма значительными. При этом наиболее существенные деформации русла были обнаружены в период весенних наблюдений (конец апреля — май), после прохождения дождевых паводков. Прохождение кратковременного сильного селевого паводка весной 1970 г. вызвало местные значительные изменения профиля реки — в основном вследствие заполнения его наносами русла на участках активно действовавших боковых притоков. Однако в дальнейшем, к

осени того же года, следы прохождения селевого паводка были в основном ликвидированы и восстановился профиль русла, близкий по своей форме к допаводковому (см. рис. 3).

Отмеченные выше изменения поперечных профилей русла копетдагских речек могут быть поставлены в связь с сезонными колебаниями расходов воды и соответствующими им изменениями твердого стока. Некоторую роль играет, вероятно, инфильтрация вод в трещиноватые коренные породы, но влияние этого фактора, по-видимому, небольшое, поскольку на данных отрезках русла не происходит резкого изменения характера эрозии.

Наряду с этим в развитии русловых процессов наблюдаются тенденции, которые обусловлены, по нашему мнению, тектоническими причинами. Такой вывод следует из рассмотрения комплексных профилей речных долин и общего характера направленности развития русловых процессов в различных морфоструктурных зонах Копетдага. В качестве примера рассмотрим профиль долины р. Чули в ее среднем и нижнем течении (см. рис. 2).

Долина Чули прорезает ряд складок центральной части Копетдага, выраженных в его рельефе высокими хребтами (Маркоу, Душак и др.), предгорными и межгорными понижениями. На всем протяжении она хорошо разработана и террасирована. Все террасы, включая голоценовые уровни поймы и первой надпойменной террасы, испытывают относительные поднятия на участках антиклиналей и снижаются в синклиналиях, что свидетельствует о продолжающемся развитии структур Копетдага и позволяет оценить амплитуды движений (относительных поднятий) отдельных антиклиналей за последние 10—12 тыс. лет в 5—8 м и более (Курбанов, Горелов, Челпанов, 1969).

В общем соответствии с морфоструктурными элементами и участками проявления голоценовых движений земной коры находятся участки преобладающего врезания русла или аккумуляции речных наносов. Наиболее четко эта связь выражена в передовой тектонической зоне Копетдага на участке Маркоусского антиклинального поднятия. Однако максимумы современного поднятия земной поверхности и эрозионного вреза смещены на южное крыло антиклинали (рис. 2 А), что может служить показателем ее современного перекоса, обусловленного региональным новейшим надвигом Копетдага на краевой прогиб. По геологическим данным — налеганию меловых отложений на плиоценовые молассы в устье протекающей рядом р. Фирюза — величина этого надвига оценивается в послеплиоценовое время до нескольких сотен метров (Вальбе, 1970). Объяснить указанное изменение руслового процесса влиянием конфигурации долины не представляется возможным, так как в районе Маркоусской антиклинали и за ее пределами долина р. Чули существенно не изменяет своего строения (см. рис. 1).

Влияние современных тектонических движений сказывается и на динамике руслового процесса. Из сопоставления рис. 2 и 3 видно, что при всей сложности изменения поперечных профилей русла за последние 5 лет тенденции руслового процесса р. Чули в районе Маркоусской антиклинали и за ее пределами неодинаковы. Отчетливо заметно преобладание процесса глубинной эрозии на участке антиклинального поднятия и аккумуляции речных наносов в краевом Предкопетдагском прогибе, а также в Ванновской синклинали. Аналогичные соотношения между современными движениями земной коры и эрозионно-аккумулятивными русловыми процессами были установлены в долинах Сетиз-Яб и других малых рек Копетдага, где имелась возможность детального сопоставления геодезических данных (результатов высокоточного повторного нивелирования) с инструментальными наблюдениями за процессами формирования речных русел. Таким образом,



результаты наблюдений в целом подтверждают вывод Н. И. Маккавеева и др. (1961) о существенном влиянии роста антиклинальных структур на развитие эрозионно-аккумулятивных процессов, полученный в лабораторных условиях.

В таблице приведены результаты специальных наблюдений за изменением твердого стока копетдагских рек в различных морфо-структурных условиях. Сопоставлены данные о скоростях речных потоков и современных вертикальных движений. В качестве примера рассматриваются реки Чули и Секиз-Яб, где имелась возможность наиболее точного (по месту и времени) сопоставления результатов гидрологических, геоморфологических и геодезических исследований. Все наблюдения были произведены осенью 1970 г. в течение нескольких дней. Изменения высот земной поверхности даны относительно условных О-пунктов, расположенных в Предкопетдагском прогибе. Приведенные в таблице данные характеризуют количество стока речных наносов по всему живому сечению реки в пунктах наблюдений.

Как видно из таблицы, количество твердого материала, переносимого реками Чули и Секиз-Яб, в целом было невелико. Величины твердого стока существенно не зависят от колебаний средней скорости потоков, что может быть объяснено весьма близкими значениями скорости течения воды в реках почти на всем их протяжении от устья до верховьев. Вместе с тем заметно увеличивается количество речных наносов на участках речных русел, испытавших в период наблюдений относительное поднятие и обладающих современной тенденцией к развитию процесса глубинной эрозии. В геолого-структурном отношении они соответствуют сводам или крыльям антиклинальных поднятий. Средние значения скорости потоков для прямолинейных отрезков русла почти повсеместно составили  $0,6-0,7$  м/сек, тогда как на участках активного современного поднятия антиклиналей количество твердого материала в реках оказалось выше (от  $0,019$  до  $0,039$  кг/час), чем на тех же отрезках русла в зонах относительного опускания синклинальных прогибов ( $0,003-0,014$  кг/час) при одном и том же преобладающем составе речных наносов (мелкозернистые кварцево-глауконитовые пески). Следует подчеркнуть, что на распределение твердого стока не оказали существенного влияния морфологические различия долин, так как его количество в теснинах и на широких отрезках долин при условии близких значений скорости водных потоков и современных движений земной коры оказалось примерно равным.

Приведенные наблюдения свидетельствуют о значительной сложности современного руслового эрозионно-аккумулятивного процесса в Центральном Копетдаге и о существенном его контроле со стороны современных тектонических движений. Процесс современного формирования поперечного и продольного профилей русла является прерывистым (наблюдается замещение участков эрозии участками аккумуляции речных отложений и наоборот), однако протекает он *при ясно выраженной общей тенденции преобладающего развития глубинной эрозии или аккумуляции речных отложений на значительных отрезках долин*. Эти тенденции стимулируются различным проявлением вертикальных движений земной коры: эрозия развивается на участках современных поднятий, аккумуляция — в районах относительных опусканий земной поверхности. Наблюдающееся при этом некоторое увеличение наносов, транспортируемых реками на участках активного современного поднятия русла, возможно, является следствием общей активизации процесса эрозии русла на этих участках. Многие долины имеют здесь мелкоступенчатый продольный профиль русла (см. таблицу), что указывает на его неравновесное состояние в современный период.

Номера поперечных профилей русла (вверх по долине)	Расстояние между профилями, км	Величины твердого стока, кг/час	Состав речных наносов	Средние скорости потоков, м/сек.	Изменения высот земной поверхности, мм	Преобладающая тенденция развития руслового процесса (1968—1972 гг.)	Врез днища русла в поверхность поймы, м	Структурное положение профилей
р. Чули								
1		0,008	Песок мелкозернистый кварцево-глауконитовый	0,8	2,5	Аккумуляция речных отложений	0,1—0,3	Краевой прогиб
5	0,50	0,008	То же	0,8	3,5	Слабый врез русла	1—2	Северное крыло Маркоусской антиклинали
8	0,70	0,040	Тот же песок с мелкой галькой	0,6	3,8	То же		Свод антиклинали
9	0,55	0,019	То же	0,6	4,4	Интенсивный врез русла	4,5—5	То же
13	0,75	0,011	Песок мелкозернистый кварцево-глауконитовый	0,8	4,5	То же		Южное крыло Маркоусской антиклинали
16	0,10	0,007	То же	1,0	3,0	Слабая аккумуляция речных отложений	0,5—1,0	Ванновская синклиналь
18	0,15	0,007	»	0,8	3,0	То же		То же
20	0,50	0,008	»	0,8	3,5	Слабый врез русла	0,5—1,0	»
21	-0,15	0,036	»	0,6	3,5	Слабая аккумуляция речных отложений	0,5—1,0	»
р. Секиз-Яб								
1		0,012	»	0,8	7,0	Аккумуляция речных отложений	0,5—0,8	Краевой прогиб
2	0,25	0,020	Тот же песок с мелкой галькой	0,7	7,0	То же	0,5—0,8	Северное крыло Улидепинской антиклинали
3	0,50	0,041	Песок мелкозернистый кварцево-глауконитовый	1,0	7,2	Слабый врез русла	0,5—0,8	То же
4	0,75	0,003	То же	0,9	8,0	Слабая аккумуляция речных отложений	5—6	»
5	0,30	0,004	»	0,8		Интенсивный врез русла	5—6	»
6	0,25	0,012	»	0,6	9,0	То же		»
7	0,30	0,024	»	0,6	9,0	Слабая аккумуляция речных отложений		Свод антиклинали
8	0,10	0,014	»	1,2	9,2	Слабый врез русла		То же
9	0,10	0,048	»	0,6	9,5	То же		Южное крыло антиклинали
10	0,20	0,097	Тот же песок с мелкой галькой	0,7	8,0	»	8,0	То же
13	0,30	0,025	Песок мелкозернистый кварцево-глауконитовый	0,8		»	8,0	»
16	0,10	0,021	То же	0,6	6,5	»	3,5—4,0	Скобелевская синклиналь
17	0,25	0,017	»	0,6		»	3,5	То же
18	0,10	0,014	»	0,8	6,0	Слабая аккумуляция речных отложений	3,5	»

В заключение рассмотрим вопрос о количественном соотношении русловых деформаций с движениями земной коры. По этому вопросу, как известно, еще нет строго определенных мнений. Применительно к территории Центрального Копетдага можно определенно говорить о совершенно несоизмеримых величинах сравниваемых процессов на протяжении последних 5—8 лет. Величины современного поднятия антиклиналей и опускания синклиналей составляют первые миллиметры, тогда как суммарные величины глубинной эрозии русла или аккумуляции речных отложений на тех же участках колеблются в пределах нескольких сантиметров, достигая на отдельных отрезках долин десятки сантиметров (см. рис. 2).

Отсюда может быть сделан только один вывод — развитие эрозионно-аккумулятивных русловых процессов на территории Центрального Копетдага протекает гораздо интенсивнее движений земной коры, но этот процесс носит ясно выраженный знакопеременный характер. Устойчивая тенденция к глубинной эрозии или аккумуляции речных наносов сохраняется, по-видимому, не очень длительное время (в геологическом смысле). В этом убеждает сопоставление максимальных суммарных величин современной глубинной эрозии рек с амплитудами голоценовых поднятий — соответственно 150—200 см за 6 лет и 5—8 м за 10—12 тыс. лет. Значительное несоответствие между глубиной вреза русла в пойму и скоростью современных русловых процессов, установленное в ходе указанных выше наблюдений, можно объяснить непрерывно-прерывистым характером эрозионно-аккумулятивного процесса, когда на том или ином отрезке долины сохраняется лишь общая тенденция развития этого процесса при значительных изменениях его скорости и направленности в отдельные небольшие по длительности периоды.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вальбе С. П. Основные черты тектоники Копетдага. — Изв. АН СССР. Сер. геол., № 6, 1970.
- Кирста Б. Т. Агроклиматический справочник Туркменской ССР, ч. III, гидрография. Ашхабад, 1958.
- Курбанов М., Горелов С. К., Челпанов С. С. Изучение деформаций земной коры на Ашхабадском геофизическом полигоне. — Пробл. совр. движений земной коры. М., 1969.
- Маккаев Н. И., Хмелева Н. В., Зайтов И. Р., Лебедева Н. В. Экспериментальная геоморфология. Изд. МГУ, 1961.

Институт географии  
АН СССР  
Институт физики Земли и  
атмосферы АН ТуркмССР

Поступила в редакцию  
22.V.1972

### METHODS AND RESULTS OF INSTRUMENTAL OBSERVATIONS OVER EARTH CRUST MOVEMENTS AND THE DEVELOPMENT OF THE RIVER CHANNEL PROCESSES IN CENTRAL KOPET-DAG MOUNTAINS

S. K. GORELOV, S. T. TAGIEV and S. S. CHELPANOV

#### Summary

Systematic instrumental observations in the central Kopet-Dag have shown that the development of river bed processes is going on much more intensively than the movements of the Earth's crust. The bed erosion-accumulative process is of a clear sign-changing character conditioned by the specific features of the rivers' hydrological regime. The movements of the Earth's crust influence only the tendency of the river bed process — erosion predominates in the areas of recent uplifts of the Earth's surface and accumulation of fluvial deposits — in the areas of its subsidence.