

# Врезание горных рек: скорости и причины

А. Ю. Сидорчук, Р. С. Чалов



*Алексей Юрьевич Сидорчук, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории эрозии и русловых процессов географического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Специалист по русловым процессам, флювиальной геоморфологии.*



*Роман Сергеевич Чалов, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, заведует той же лабораторией. Занимается русловыми процессами и гидрогеологией рек. Лауреат премии им. Д.Н.Анучина (1988).*

**О**ДНА из самых примечательных особенностей строения речных долин — образование террас. Они говорят о сложном развитии долины: ее углублении и одновременном смещении по горизонтали (боковая эрозия, размыв берегов), накоплении на дне наносов — аллювиального покрова. На равнинах скорость размыва берегов в десятки и сотни раз превосходит скорость врезания рек. В результате формируются долины с широкими поймами и террасами. В горах, где трудноразмываемые горные породы преобладают, возникают узкие долины — каньоны, ущелья, часто лишенные террас; последние встречаются и могут быть заметны лишь в котловинах и местах, где реки выходят в предгорья. В большинстве случаев это следствие длительной геологической истории, эволюции речной долины за десятки, сотни тысяч, а иногда и десятки миллионов лет.

Любопытно, что образование речных террас интересует лишь геологов и геоморфологов, а не специалистов, проектирующих и строящих плотины и каналы в долинах рек. Для тех, кто возводит гидротехнические сооружения, важен лишь факт существования террас.

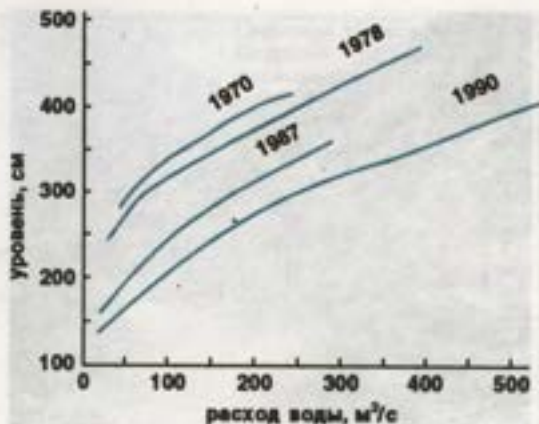
Дело в том, что скорость врезания этих форм речных долин — очень мала: на равнинах она составляет от доли миллиметра до нескольких миллиметров в год; при этом максимальные значения характерны для локальных и, как правило, временных проявлений глубинной эрозии (например, при спрямлении отдельных излучий, углублении дна у вогнутого берега и смещении перекатов и плесов вдоль

русла и т.д.). Эти проявления эрозии имеют периодичный характер. Они не изменяют общий характер долины, хотя и являются одной из главных причин аварий на переходах через реки трубопроводов и других коммуникаций. Лишь когда создают водохранилища, крупные карьеры, перехватывающие сток наносы, скорость глубинной эрозии на равнинных реках может составлять несколько сантиметров в год. В этом случае реки врезаются за 20–30 лет. На участках, тянущихся вверх или вниз по течению на десятки километров, уровень дна понижается на 0,5–2 м.

Считается, что в горах скорости врезания рек обычно сравнительно невелики, их не замечают несколько поколений людей.

Геоморфолог А.А.Никонов собрал большое количество данных о скорости врезания рек в Средней Азии, на Кавказе, в Карпатах, на Монгольском нагорье и других горных районах<sup>1</sup>. По его данным, в областях современного образования гор скорость врезания рек не превышает 0,5–7,0 мм/год. Этот факт подтверждают и другие исследователи. Например, в Калифорнии, в зоне сочленения трех подвижных литосферных плит — Тихоокеанской, Северо-Американской и Хуан-де-Фука — скорость тектонического подъема поверхности составляет 2,5–3,0 мм/год. Однако здесь реки врезались в коренные породы — сланцы — в течение последних 10 тыс. лет со средней скоростью 0,7–1,8 мм/год. В столь активно воздымающихся горах, как Гималаи, скорости врезания реки Инд в верховьях составляют 2–12 мм/год в среднем за 7–60 тыс. лет; максимальные скорости наблюдаются в областях наибольших тектонических деформаций<sup>2</sup>.

При таких темпах изменения отметок дна рек это не сказывается на хозяйственных объектах и гидротех-



Изменение расходов воды в районе пос. Худодой в зависимости от уровня р. Чаткал (по С.К.Хакимову, 1992 г.)

нических сооружений, срок службы которых обычно составляет 50–100 лет. Поэтому в среде гидротехников бытует мнение, что вертикальные деформации речных русел не представляют особого интереса, из-за чего в прогнозировании речных процессов они не учитываются.

Считается также, что интенсивное врезание, на порядок превышающее общеизвестное специалистам, встречается редко и обычно связывается с особыми — экстремальными — условиями развития горных рек. Однако новейшие исследования показывают, что скорости врезания рек в горах значительно выше. Так, С.К.Хакимов по данным о расходах воды рек Западного Тянь-Шаня (Пскем, Угам, Чаткал и др.) за несколько десятков лет установил<sup>3</sup>, что реки врезаются со скоростью 1–7 см/год. С максимальной скоростью реки врезаются исключительно в узких ущельях, где они стеснены скалами, а русла лишены галечно-валунного покрова. Благодаря большим скоростям течения (до 5 м/с и более) во время паводков наносы транзитом проходят через такие участки. Поток тут контактирует со скальным ложем, а

<sup>1</sup> Никонов А.А. // Геоморфология. 1973. № 1. С.24–35.

<sup>2</sup> Howard A. // Nature. 1996. V.379. P.488–489; Burbank D. et al. // Ibid. P.505–510.

<sup>3</sup> Хакимов С.К. Русловые процессы на реках Западного Тянь-Шаня. Автореф. канд. дис. М., 1992.



Скальное русло р. Чаткала (Западный Тянь-Шань).

Фото Р.С.Чалова

влекомые водой галька и валуны разрушают горные породы. Такое явление, называемое корразией, способствует ускорению врезания реки.

До сих пор ни в отечественной, ни в мировой практике освоения речных долин нет критериев, позволяющих определять формы интенсивной глубинной эрозии и ее влияние на устойчивость сооружений. Все чаще они возводятся на участках долин, никогда раньше не осваивавшихся.

При проектировании обычно не учитывается вероятность интенсивного (катастрофического) врезания рек. Если же такая возможность допускается, то выясняется значительная интенсивность таких явлений. В частности, расчеты Института мелиорации Киргистана показывают, что долина р. Чу за несколько десятков лет может стать глубже на 50 м. Правда в этом случае речь шла о почти двукратном увеличении воды в реке, а не о естественном развитии процесса.

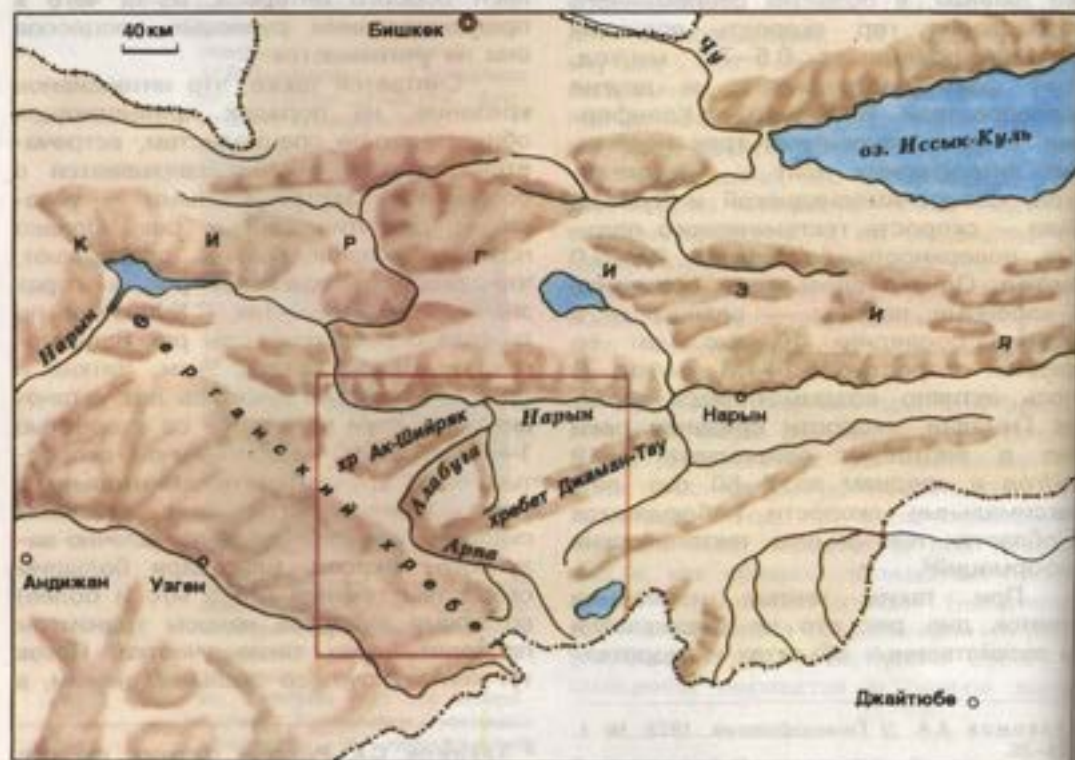
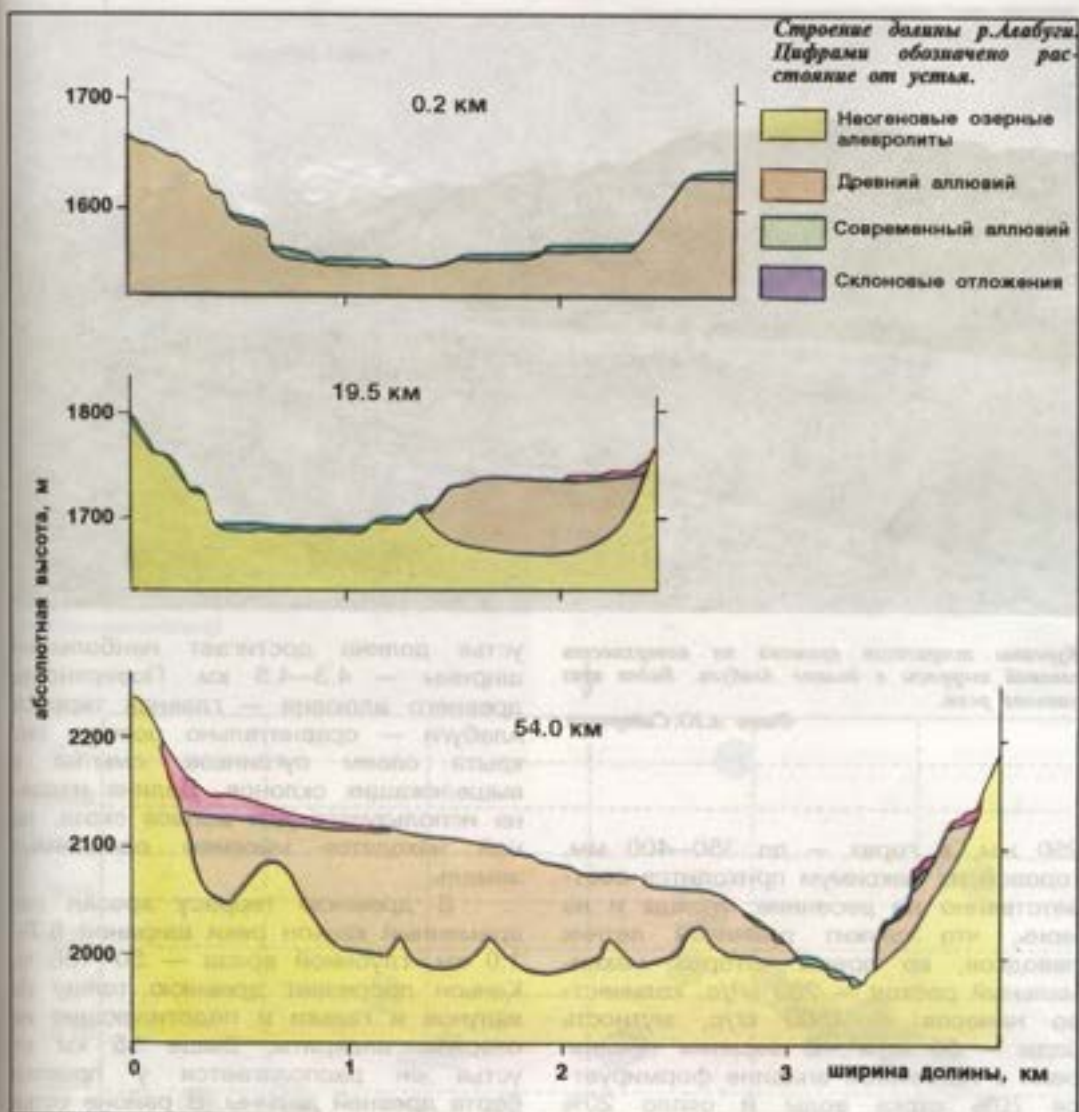


Схема бассейна р. Алабуга.



Еще более яркий пример — р. Алабуга, левый приток Нарына. Здесь в 70-х годах проектировалась серия водозаборных станций для орошения. Считалось, что речное дно не меняет своего положения в течение длительного времени. Однако оказалось, что с 1983 по 1992 г. река врезалась на 6 м, в то время как внешние условия существенно не изменились (данные Киргизгипроводхоза). Головное сооружение водозабора обсохло, и его дважды пришлось перестраивать. Несколько выше водозабора располагается мост, опоры

которого постоянно приходилось укреплять и, несмотря на это, мост уже дважды разрушался. Поэтому в 1988—1992 гг. для исследования причин аварий проводились экспедиции, в которых принимали участие сотрудники географического факультета МГУ и Киргизгипроводхоза.

Алабуга (в верхнем течении — Арпа) имеет площадь водосбора 5820 км<sup>2</sup>, длину 180 км. Средний годовая сток воды в нижнем течении составляет 903 млн м<sup>3</sup>, взвешенных наносов — 2200 тыс. т. Годовое количество осадков в низовьях реки —



*Курганы тюркского времени на поверхности главной террасы в долине Алабуги. Виден врез каньона реки.*

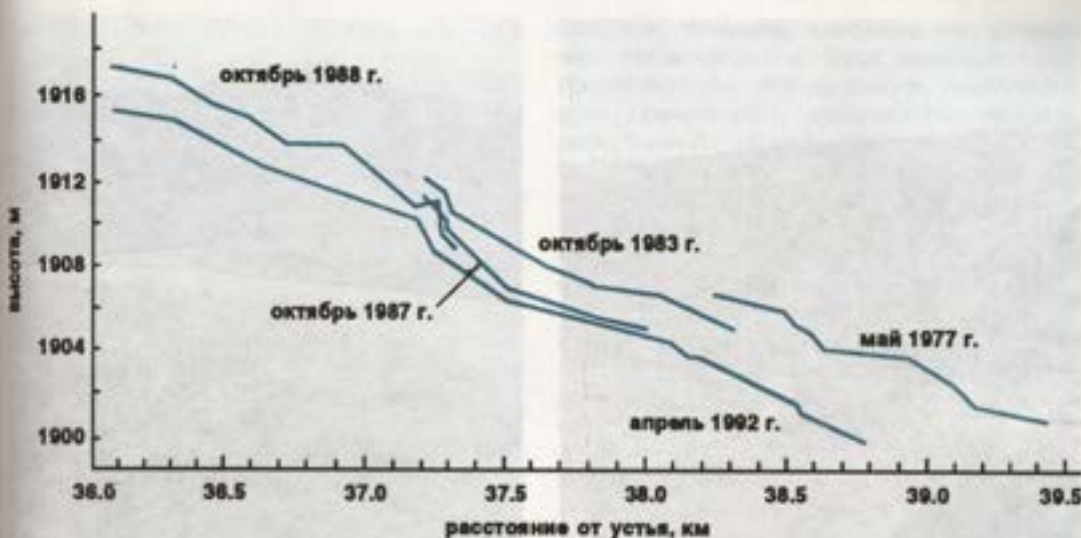
*Фото А. Ю. Сидорчука*

250 мм, в горах — до 350—400 мм, годовой их максимум приходится соответственно на весенние месяцы и на июнь, что служит причиной летних паводков, во время которых максимальный расход — 280 м<sup>3</sup>/с, количество наносов — 1500 кг/с, мутность воды — 56 кг/м<sup>3</sup>. В верхнем течении реки в Арпинской впадине формируется 70% стока воды и около 20% наносов. Затем в узком и глубоком каньоне река пересекает хр. Джаман-Тау, и после слияния с р. Пчаном она 85 км течет по Алабугинской впадине. С северо-запада бассейн Алабуги окаймлен плосковершинным хребтом Западный Ак-Шийряк, а с юга и юго-запада — Ферганским.

В пределах Алабугинской впадины долина Алабуги имеет ширину 2,0—4,5 км и врезана на 500—800 м в неогеновые и четвертичные озерные отложения. Этот врез отчасти заполнен 50—150-метровой толщей галечно-валунного аллювия. В 40—50 км от

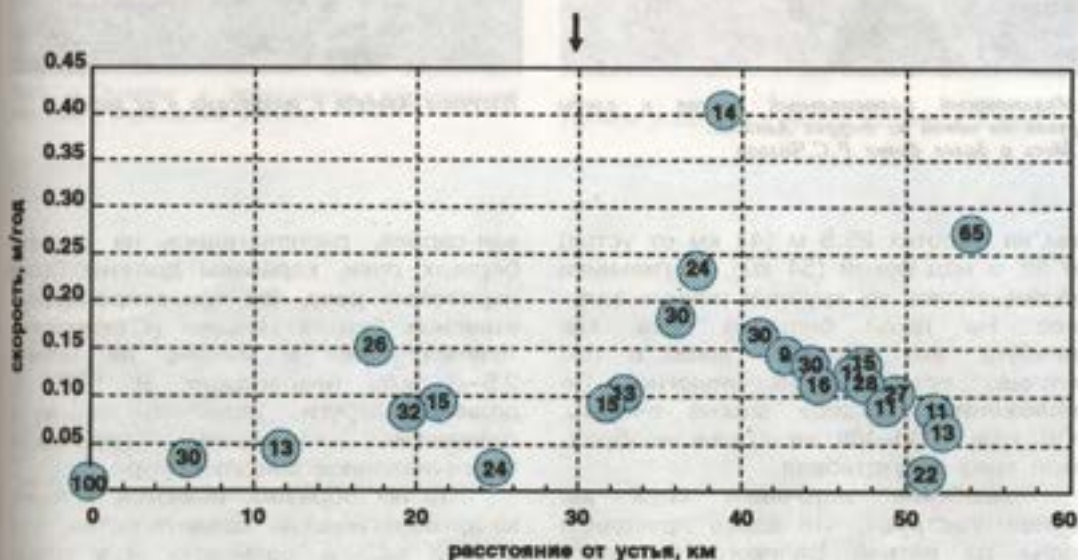
устья долина достигает наибольшей ширины — 4,3—4,5 км. Поверхность древнего аллювия — главная терраса Алабуги — сравнительно ровная, покрыта слоем суглинков, смытых с вышележащих склонов. Долина издавна используется для выпаса скота, на ней находятся массивы орошаемых земель.

В древнюю террасу врезан современный каньон реки шириной 0,7—1,0 км, глубиной вреза — 50—130 м. Каньон прорезает древнюю толщу из валунов и гальки и подстилающие их озерные алевриты. Выше 55 км от устья он располагается у правого борта древней долины. В районе устья р. Макмала каньон пересекает долину, прижимается к ее левому борту, а в низовьях (в 14 км от устья) проходит по центральной части, имея ширину 1,7 км. В верхней части подмываемый борт каньона отвесный, противоположный склон также крутой, но он террасирован. Выделяют 6—8 цокольных террас, перекрытых маломощными галькой и валунами. На среднем отрезке каньон прорезает 30—50-метровую толщу древнего аллювия и на 12—25 м уходит в озерные алевриты. В пределах древнего аллювия он относительно широк (0,7—1,0 км).



Изменение отметок максимальной глубины русла Алабуги за период 1977—1992 гг. в районе Джергитальского водозабора (данные Киргизгипроводхоза).

Изменение скорости врезания русла Алабуги. Кружками отмечена средняя скорость за определенное число лет (цифры в кружках).



борта или отвесные или, чаще, террасированные. В нижнем течении каньон Алабуги приобретает ящикообразную форму с крутыми, слабо террасированными бортами, днище его занято поймой. Ширина его практически совпадает с общей шириной древней долины реки.

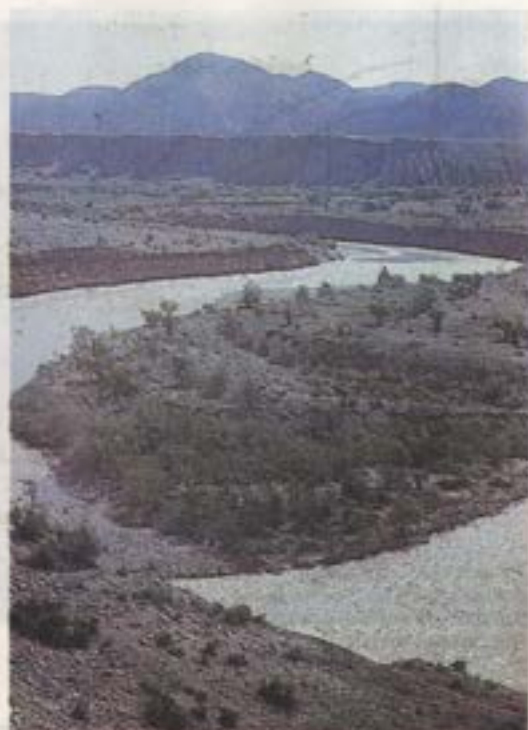
Поверхность главной террасы Алабуги пригодна для земледелия и кочевого скотоводства. На ее поверх-

ности находятся шесть разновозрастных групп курганов-могильников — от эпохи бронзы (VI—IV вв. до н.э.) до тюркского времени (VI—VII вв. н.э.)<sup>4</sup>. Наиболее низко расположенные могильники тюркского времени обнаруже-

<sup>4</sup> Бернштам А.М. Историко-археологические очерки Центрального Тянь-Шаня и Памиро-Алая // Материалы к исслед. по археологии СССР. № 26. М.: Л., 1952.



*Маломощный аллювиальный покров и следы русла на одной из террас Алабуги. Здесь и далее фото Р. С. Чалова*



*Излучина Алабуги с террасами в ее шпоре.*

ны на высотах 25,5 м (41 км от устья) и 56 м над рекой (54 км). Могильники складывались из крупных речных валунов. На такой большой реке, как Алабуга, это возможно лишь в том случае, если берега пологие. По положению курганов можно считать, что еще в VI—VIII вв. каньонобразный врез отсутствовал.

Арабские источники IX—X вв. свидетельствуют, что здесь проходила одна из ветвей Великого торгового пути, связывавшего Китай со странами Европы и Передней Азии<sup>5</sup>. От Узгена (западные предгорья Ферганского хребта) дорога вела через перевал Ясы к крепости Чалдывар на берегу ручья Манапельды — левого притока Алабуги, далее — к крепости Ширдарбек на правом берегу Алабуги. Так как крепости, выполнявшие функции кара-

ван-сараев, располагались на разных берегах реки, караваны должны были пересекать реку, что при современных отвесных бортах каньона и скорости течения, даже в межень не менее 2,5—3 м/с, невозможно. В 1389 г. долину Алабуги, недалеко от пути купеческих караванов, пересекло многочисленное войско Тимура.

Таким образом, имеются историко-археологические свидетельства, что в IX—X вв., а возможно, и в конце XIV в. каньонобразный врез Алабуги отсутствовал, а ее русло располагалось на уровне современной 19—22-метровой террасы. Река была достаточно мелководной, через нее вброд переправлялись люди и караваны.

Чтобы определить время формирования высоких террас, гидролог А. В. Панин измерил толщину коры «пустынного загара» на гальке. В первые 5—7 лет образуется слой

<sup>5</sup> История Киргизской ССР. Фрунзе, 1984. Т. 1.



Врез р. Кузгарта в поверхность аллювиальной равнины (Ферганская долина).

окислов, толщина которого со временем увеличивается. Этот окисный слой проникает по трещинам и покрывает всю поверхность гальки. На каждой датированной поверхности отбиралось 5—7 образцов гальки мелкозернистого песчаника. Измерения выполнялись 5—10 раз, их точность до 0,05 мм. Кривая роста корки была прокалибрована по образцам с такой же коркой на гальке из независимо датированных объектов: с низких террас (12—30 лет), Кокандской крепости, построенной после завоевания бассейна среднего Нарына Кокандским ханством в 1832 г. (ее возраст 150—160 лет), курганов тюркского периода, VI—VIII вв. (возраст 1400 лет). Этот метод позволил определить возраст террас высотой до 25 м (около 1300 лет).

Для оценки возраста поймы и низких террас применяли дендрохронологический метод. Датированы пионерные породы деревьев и кустарников, поселяющихся на прирусловых отмелях в

Террасы р. Катунь в районе слияния с р. Чуй.



период их регулярного затопления во время паводков — белый тополь, ива, тамариск, облепиха (40 определений). Их возраст изменялся от 6—7 до 100 лет при высотах поймы террас от 0,1 до 5 м. Правда, возможности метода ограничиваются естественной гибелью старых деревьев и вырубкой тугайных лесов на топливо.

На нижнем участке реки оказался применимым картографический метод. На местности выявлялись (в 1988 г.) фрагменты высокой поймы, показанные на крупномасштабных картах издания 1973 г. как русловые отмели. Нивелировкой определялось их относительное превышение над современными отмелями и соответственно величина врезания реки за последние 15 лет.

Инструментальные измерения процесса понижения дна Алабуги в районе Джергитальской насосной станции проводились специалистами Киргизгипроводхоза. Здесь за период 1977—1992 гг. максимальная скорость врезания реки оказалась равной 32 см/год. В месте слияния Алабуги с Нарыном русло углубляется со скоростью 0,4—0,9 см/год, что очевидно свидетельствует о врезании и главной реки — Нарына. Врезание на нижнем участке замедлено из-за близости базиса эрозии — р.Нарына, хотя местами достигает величин 12—15 см/год.

На участке 41—50 км скорости изменяются в диапазоне от 10—15 см/год до 30—40 см/год. Выше 50 км скорость врезания составила 3—8 см/год, а на отдельных участках — 1,4 см/год. Это объясняется тем, что местный базис эрозии существует на выходе более прочных пород.

В ближайшем будущем на участке 51—54 км от устья Алабуги следует ожидать заметное увеличение скорости врезания реки. На высоких террасах средняя за 60—70 лет скорость составила 18 см/год. Наконец-то угрозу интенсивного врезания реки поняли строители, и сваи для опор вновь строящегося моста стали забивать более чем на 20 м в дно.

Алабуга в пределах своей впади-

ны, по многим характеристикам — уникальное явление. Из-за больших уклонов реки и легко размываемых коренных пород долины средние скорости врезания здесь за последние 200 лет — 10—20 см/год. Сложное строение бассейна реки — две котловины, разделенные хребтом — привели к практическому отсутствию поступлений галечно-валунных влекомых наносов из верхней котловины в нижнюю. Поскольку водосбор в пределах котловины сложен озерными алевритами, влекомые галечно-валунные наносы могут поступать в реку только при перемыше и эрозионном размыве ее собственных аллювиальных отложений.

Увеличение стока влекомых наносов по длине реки при одинаковых уклонах дна и водности потока привело к изменению морфологии русла. В области дефицита наносов сформировалось меандрирующее русло; из-за больших скоростей углубления дна возникли врезанные излучины с характерной скоростью горизонтальных деформаций (4—5 м/год) и лестничной террас. В области относительного насыщения потока наносами формируются побочни. Это не препятствует врезанию реки, так как на них образуется валунная отмостка, происходит быстрый размыв берегов (до 10 м/год), смещение русла по горизонтали и врезание в коренные породы в стороне от побочней. В области расширения днища долины сформировалось прямолинейное русло с большим количеством отмелей (осередков и побочней), которые передвигаются со скоростью 25 м/год.

Современная долина Алабуги — результат ее развития в голоцене (последние 10 тыс. лет). В начале этого периода русло располагалось в толще древнего аллювия. Его хорошая водопроницаемость обусловила фильтрацию значительной доли стока, что уменьшало транспортирующую способность водотока. В этом отношении аналогом долины Алабуги на этом этапе служит современная долина ее притока Джамандавана, впадающего справа в 15 км от устья Алабуги. Эта

река имеет длину 64 км, площадь ее водосбора — 336 км<sup>2</sup>, слабо террасированная и заполненная галечно-валунной толщей большой мощности. Долина сформировалась в неогеновых отложениях, ее ширина доходит до 4 км. В долине фильтруется большая часть стока, русло дробится на рукава, из-за чего при значительных уклонах скорость течения и глубина сравнительно невелики, здесь не происходит интенсивного врезания реки. Выклинивание подземного потока происходит в низовьях, где она прорезает неогеновые алевриты, имея существенно большой уклон (40%), и тремя рукавами впадает в Алабугу. Такая долина может долгое время располагаться на большой высоте, так как в условиях редукиции руслового стока продольный профиль реки длительное время сохраняет выпуклую форму.

На втором этапе развития долины Алабуги был сформирован глубокий каньон, причем скорости врезания увеличились в 10—100 раз по сравнению с «джамандаванским» периодом. Главная причина этого — смена состава прорезаемых пород: коренные алевриты легко размываются. Ускорение врезания, по-видимому, началось еще в пределах верхней аллювиальной толщи вследствие уменьшения подземной составляющей стока при приближении к кровле водоупорного горизонта. Трансформация разветвленного русла в неразветвленное многократно увеличила транспортирующую и эрозионную способность потока.

Насколько типична алабугинская ситуация для горных регионов? Широкие аллювиальные равнины (главные террасы) в долинах рек, в которые врезаны глубокие (до 100—150 м) каньоны широко распространены в Тянь-Шане, Памиро-Алае и в горах Алтая. В предгорном обрамлении Ферганской долины многие реки бассейна Сырдарьи врезаны в плоскую поверхность, сложенную песчано-галечным аллювием, образуют каньоны с вертикальными бортами и узким днищем и руслом. В долине р.Пскема (Западный Тянь-Шань) русло врезано в неогеновые «каменные» глины, образующие цоколь высоких террас в узком каньоне, а также в широкую террасированную поверхность, на которой располагаются населенные пункты, автомобильная трасса, сельскохозяйственные земли. Все притоки Пскема, не успевающие следовать за врезанием главной реки, имеют висячие устья, которые обрываются водопадами, образованными на «каменных глинах». Русло Пскема занимает все дно каньона, практически лишено наносов и представляет собой лоток, выработанный в глинах. Примерно также устроена долина Катуня на Алтае, выше створа проектируемой Катунской ГЭС, и в районе слияния с р.Чуей, а также р.Чуя в низовьях.

Таким образом, полученные данные о строении речных долин в горах свидетельствуют о значительных скоростях врезания рек, существенно превышающих усредненные характеристики.