

# Горные реки равнин и горы с равнинными реками

В.М.Михайлов

Первая половина заголовка почти напрямую заимствована из монографии известного геолога, первооткрывателя колымского золота Ю.А.Билибина [1]. Парадоксальное определение «...равнина, орошаемая горными реками (скорее, дренируемая. — В.М.)» сформулировано на примере Алданского плоскогорья и с неменьшим основанием применимо к большинству подобных образований, в том числе почти ко всему Среднесибирскому плоскогорью. Бассейны рек Анабар и Оленёк на северо-востоке этой обширнейшей территории обладают аналогичными чертами (рис.1), несмотря на гораздо более низкое положение.

В то же время на планете встречаются сильно расчлененные островершинные горы, в которых большинство рек (за исключением верховьев и участков, где они прорезают осевые части хребтов) выработали извилистые русла в широкопойменных долинах и приобрели по существу равнинный характер. Это самые молодые участки суши, которые еще в кайнозой, максимум в позднем мезозое были глубоководными впадинами, накапливающими мелкозернистые осадки. Они распространены намного меньше и в нашей стране в чистом виде сосредоточены в основном на Сахалине (рис.2).

Контраст рассматриваемых территорий обобщен на рис.3.



**Владимир Матвеевич Михайлов**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Северо-Восточной научно-исследовательской мерзлотной станции Института мерзлотоведения им.П.И.Мельникова СО РАН. Область научных интересов – талики речных долин, геологическая деятельность рек.

В первом случае наиболее выровненные участки приурочены к междуречьям; во втором это днища долин. Абсолютные отметки водоразделов в средней части бассейна р.Анабар редко достигают 200 м, урезы рек варьируют в диапазоне 10–50 м, причем подавляющая доля перепадов высот сосредоточена вблизи от тальвегов. На Сахалине глубина эрозионного вреза больше в 4–6 раз, и при этом крутизна склонов мало меняется от гребней водоразделов до тыловых швов пойм.

Причины таких диаметрально противоположных соотношений между элементами рельефа далеко не просты и требуют внимательного анализа.

## Эрозионный цикл. Геологическая деятельность рек

У.М.Дэвис, «отец американской географии», известен главным образом как автор теории *географического цикла* [2]. В его работах обобщены сведения о том, что в развитии рельефа Земли прослеживается явная ритмичность. Эпохи горообразования (*орогенеза*), в результате которого на месте равнин или даже морского дна вырастают горные массивы высотой в километры (локально и в самые активные фазы — за какие-то сотни тысяч лет), сменяются длительными периодами тектонической стабильности, занимающими десятки миллионов лет и более. Это эпохи выравнивания (*планации*). На поздних этапах цикла от гор остается пологоволнистый рельеф «почти равнины», названной Дэвисом *пенепленом*. Ведущим фактором *денудации*, т.е. удаления продуктов разрушения (*выветривания*) скальных пород за пределы горных сооружений, в большинст-

ве случаев служит деятельность текучих вод, поэтому основная ипостась цикла географического — это *эрозионный цикл*. Сам «профессор Пеннелен» выделял в каждом цикле три основные стадии, дав им выразительные названия «молодость», «зрелость», «старость».

Концепция географического цикла неоднократно критиковалась, но все же понятия, введенные Дэвисом, в науке в основном прижились, хотя нередко в измененном толковании. «Возрастные» термины ныне применяются только к рекам [3], без однозначной привязки к стадиям эрозионного цикла. Из этих стадий — фаз — всеми (или почти всеми) исследователями признаются три: *глубинная эрозия (врезание)*, *динамическое равновесие* и *накопление аллювия (направленная аккумуляция)*. Первая соответствует «молодости» по Дэвису; вторая — «зрелости» и «старости»; последняя в изначальной схеме не выделялась. Между фазами врезания и равновесия некоторые авторы помещают стадию *боковой эрозии (расширения долины)*, другие присоединяют этот этап развития к одной из смежных фаз. При этом эрозионный цикл в целом давно утратил соразмерность с эпохами орогенеза и планации. Известно, что во многих растущих горных системах реки (точнее, отдельные их участки) могут находиться в любой из стадий. Поэтому «термин “эрозионный цикл” применяется обычно лишь к эрозионной деятельности, независимо от развития всего рельефа горной страны в целом» [1. С.145].

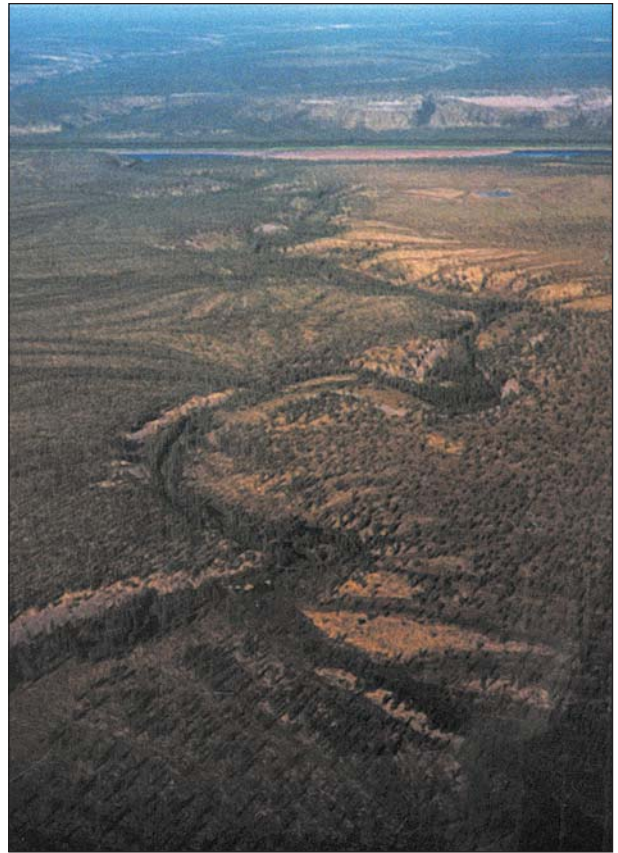


Рис.1. V-образная долина реки, впадающей в р.Анабар.



Рис 2. Широкопойменная долина IV порядка на о.Сахалин. Узкое извилистое русло ручья маркируется деревьями и кустарниками.



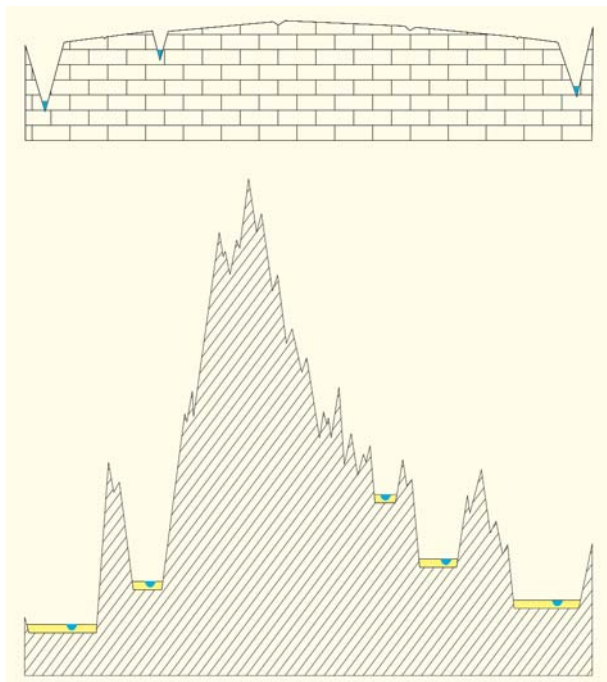


Рис.3. Схематические разрезы водоразделов, соответствующие рисункам 1 (вверху) и 2.

Для дальнейших построений достаточно первых двух общепризнанных стадий. Но оказывается, что даже здесь имеется широкий простор для разночтений. Универсальными можно считать лишь наиболее очевидные положения: основная причина глубинной эрозии — интенсивное воздымание гор; переход к расширению долины и далее к равновесию связан с замедлением либо прекращением этого процесса; продольный профиль долины при этом становится более пологим. Много копий сломано вокруг самого понятия «динамическое равновесие». История вопроса подробно рассмотрена в монографии магаданского геолога И.П.Карташова [4], он же предложил наиболее обоснованное с физической точки зрения объяснение причин перехода от глубинной эрозии к боковой.

В разрушении скальных пород водным потоком основная роль принадлежит двум механизмам: переносимые течением наносы как истирают коренное ложе, так и отламывают от него целые куски. Дело в том, что любая скала отнюдь не монолитна, она всегда пронизана более или менее густой сетью трещин различного генезиса и размера. При этом многие блоки оказываются частично или даже полностью оконтуренными системами трещин. Соударения *влекомых* наносов (передвигающихся путем скольжения, перекачивания и сальтации) с коренным ложем расшатывают эти в различной степени оформленные фрагменты на его поверхности, постепенно подготавливая их к окончательному отделению. Очевидно, что при

значительной трещиноватости пород (т.е. при небольших размерах фрагментов) эффективность второго механизма намного больше по сравнению с постепенным истиранием. Но оба они действуют лишь до тех пор, пока движущиеся наносы соприкасаются со скальным основанием ложа реки. По мере замедления восходящего развития рельефа ее продольный профиль выполаживается, скорость течения уменьшается, мощность донных наносов увеличивается, их нижние слои все реже приходят в движение и в конце концов остаются на месте даже в самые мощные паводки, прекращая тем самым глубинную эрозию.

В последних двух фразах и состоит вкратце суть концепции Карташова. Для ее подробного обоснования (равно как и в других построениях) автор использует понятие «баланс рыхлого материала»: это «соотношение между количествами рыхлого материала, выносимого рекой и поступающего в нее извне» [4. С.18] — здесь речь идет о продолжительных отрезках времени, намного перекрывающих все кратковременные климатические циклы. Этой своеобразной характеристике, по определению как бы количественной, явно не суждено выйти за рамки мысленных экспериментов. Она и ее аналоги часто применяются в теоретических построениях — так, еще в работах Дэвиса рассматривалось соотношение между поступлением рыхлого материала и *транспортирующей способностью* потока, т.е. тем его количеством, которое река в состоянии переносить. Эта характеристика потенциально более информативна, но в ней особенно наглядно проявляется общий недостаток валовых соотношений (т.е. оперирующих полными объемами рыхлого материала): в них нивелируются различия в характере взаимодействия водного потока с обломками различной крупности. Между тем эти различия носят принципиальный характер.

Транспорт *влекомых* наносов (в реках горных территорий это галька, гравий, небольшие валуны) представляет собой постоянные взаимопереходы процессов размыва, переноса и отложения, причем нередко все они развиваются одновременно в одном и том же поперечном сечении русла. При отсутствии дефицита обломков соответствующей крупности поток всегда перемещает ровно столько их, сколько способен (изменяя соотношение между аккумуляцией и размывом). Именно они составляют «костяк» ложа и намывной поймы реки, и поэтому некоторые авторы отождествляют их с *руслоформирующими наносами*; для рек, протекающих в горах, это обычно вполне справедливо.

Мелкие частицы, взвешенные в водной толще, могут намного превосходить по массе движущиеся по дну *влекомые* наносы, но и тогда их роль в составе отложений и в развитии рек второстепенна. Они преодолевают транзитом, без остановок, весьма протяженные участки и в чистом виде

откладываются на поверхности поймы в высокие паводки, образуя *пойменную фацию* аллювия. Естественные русловые потоки, включая самые мутные, способны переносить намного больше взвешенных наносов, чем реально в них присутствует (теоретический предел равен половине общего объема взвеси), т.е. реки практически безразличны к их количеству.

Наконец, в поток поступают и такие обломки, которые он не способен перемещать даже путем влечения (*перлювий*). Они время от времени передвигаются на небольшие расстояния под воздействием специфических процессов (например, вымывания аллювия из-под нижнего по течению края), но в целом по своей роли в потоке мало отличаются от выступов коренных пород. Последнее тем более справедливо в отношении крупных блоков, отделенных от коренного ложа реки субаквальным выветриванием: их подвижность ограничена соседними блоками, поэтому они остаются на месте до тех пор, пока не будут сточены движущимися обломками до размера влекомых наносов. Иными словами, если взвешенными наносами река всегда недогружена, то перлювием — даже тогда, когда он представлен одной единственной глыбой, — наоборот, перегружена. Его логично рассматривать как часть внешней по отношению к потоку среды, источник подвижных наносов.

Из всего сказанного следует, что направленность геологической деятельности реки определяется соотношением (в вековых масштабах времени) двух величин: интенсивности поступления обломков крупности руслоформирующих наносов и транспортирующей способности потока по отношению к этим наносам [5]. При этом необходимо учитывать все без исключения источники рыхлого материала: вышележащие участки реки, склоны долины, само русло и — что нередко упускается из виду — его скальное основание. Будем называть эту характеристику степенью насыщения потока руслоформирующими наносами. Ее преимущества можно оценить на примере равновесного участка реки (данная величина здесь равна единице, рыхлого материала выносятся столько же, сколько поступает с вышележащих участков и склонов). Допустим, что в приходной части доля обломков крупности руслоформирующих наносов уменьшилась при равном увеличении количества мелкозернистого материала. С точки зрения валовых соотношений причин для нарушения равновесия нет, тогда как на самом деле оно не может не смениться врезанием: вынос влекомых наносов остается (поначалу) неизменным и никак не может быть восполнен усиленным осаждением взвешенных частиц — не говоря уже об отсутствии причин для подобной «компенсации». Наоборот, даже многократное увеличение или уменьшение поступления взвесей при неизменном полном насыщении потока руслоформирующими наносами может вызвать лишь очень

небольшое и постепенно сходящее на нет изменение мощности слоя пойменной фации аллювия.

Понятно, что в стадии глубинной эрозии поток недонасыщен руслоформирующими наносами — это и есть причина врезания. Несколько менее очевидно, что при боковой эрозии наступает перенасыщение: скальное ложе расширяющейся долины выстилается принесенным с вышележащих участков аллювием, который частично замещает разрушаемые коренные породы (недаром Билибин по существу объединял этот этап развития реки с фазой накопления аллювия, близкие взгляды высказывал и Дэвис).

Возвращаясь к рассматриваемому контрасту, его можно сформулировать следующим образом: в горах Сахалина реки преимущественно находятся в стадии динамического равновесия или даже накапливают аллювий, тогда как на современных плоскогорьях большинство водотоков очень далеко от этого состояния: им предстоит еще завершить глубинную эрозию и пройти стадию расширения долин. В чем же причина такого сильного отставания?

### Ключевой фактор — характер разрушения скальных пород

Ответ на последний вопрос в первом приближении очевиден: различие заключается в эрозионной стойкости коренных пород и — шире — в сопротивляемости их выветриванию под влиянием других агентов природной среды. Обе характеристики тесно связаны и часто отождествляются с твердостью порообразующих минералов, но изложенные выше сведения о механизмах эрозии противоречат этому интуитивному убеждению.

Идея существования достаточно отчетливой грани в способности коренных пород распадаться на обломки того или иного размера давно носителю в воздухе. Еще в начале 20-х годов прошлого века известный немецкий геоморфолог В.Пенк писал: «...склонность к образованию глыб есть специфическое свойство соответствующих пород» [6. С.114]. Противопоставления отдельных видов пород часто встречаются в отечественной литературе. В работе [7] склоновые отложения одного из регионов Сибири подразделены на курумо-глыбовники и щебеночники и отмечена приуроченность данных разновидностей к различным субстратам. На самом деле у большинства коренных пород в первичных продуктах выветривания преобладает либо щебень, либо намного более массивные обломки [5]. По этому признаку породы отнесены к щебнистому и глыбовому типам (последний, вообще говоря, правильнее называть глыбово-каменным). Здесь уместно привести градации крупности обломочного материала по Л.Б.Рухину [8]:

Размер*, мм	0,05–2	2–10	10–200	200–1000	>1000
Угловатые	песок	дресва	щебень	камни	глыбы
Окатанные	—	гравий	галька	валуны	—

\* Размер обломка принято считать равным наименьшему диаметру отверстия, в которое он может пройти.

Такое подразделение особенно полезно для исследований геологической деятельности рек горных стран, ибо для них поступающий в русло щебень представляет собой «готовые» руслоформирующие наносы, которые сразу же включаются в триединый процесс: перенос—отложение—размыв. Роль намного более подвижной и быстро измельчающейся дресвы (а равно и гравия) в речных отложениях весьма незначительна [9], а из каменно-валунной фракции в состав влекомых наносов входят — и то в самых быстрых реках — только обломки наименьшего размера, примерно до 300 мм [5]. Ниже приведена краткая характеристика наиболее распространенных видов коренных пород.

Интрузивные породы (граниты, гранитоиды и т.д.) почти без исключений относятся к глыбовому типу. Они образуются из магмы, внедрившейся под большим давлением в толщу земной коры, но не нашедшей выхода на поверхность. Ее кристаллизация и остывание даже при сравнительно небольших объемах растягиваются на многие тысячи лет, и монолитность новообразованного скального массива нарушается лишь разреженными контракционными трещинами. Соответственно, первичные продукты выветривания таких пород представлены преимущественно глыбами. При субаэральном выветривании они со временем рассыпаются в дресву и песок, в основном минуя фракцию щебня (рис.4), а в сфере действия потока чаще постепенно истираются до размера руслоформирующих наносов.

Образованию *осадочных* пород (в силу присущей им слоистости и различных механических свойств осадков, слагающих соседние слои) сопутствует массовое возникновение трещин уже в ходе литогенеза; их густота еще более возрастает при последующих деформациях. Поэтому в большинстве эти породы относятся к щебнистому типу. К глыбовому типу принадлежат лишь некоторые разновидности песчаников (с наиболее толстыми слоями) и твердые карбонатные породы, в которых образовавшиеся были мелкие трещины легко залечиваются из-за высокой способности к перекристаллизации составляющих минералов. Как отмечал Билибин, «...известняки являются довольно мягкими и сравнительно легко истираются, но зато вследствие своей однородности и некоторой пластичности они неохотно образуют трещины, и потому выкрашивание их в процессе углубления русла играет лишь весьма второстепенную роль» [1. С.238].

Характер выветривания *вулканогенных* пород определяется рядом факторов; ведущий — это состав исходной магмы. При малом содержании кремниевой кислоты она обладает низкой вязкостью и изливается на земную поверхность сразу большими массами, растекаясь на значительные расстояния. Кроме того, базальтовая лава самая горячая; вероятно, это служит причиной прочного спекания свежих лавовых потоков с ранее застывшими слоями — иначе трудно объяснить формирование характерных столбчатых отдельностей. Живописные картины дезинтеграции базальтов, принимающей мегалитический облик («мостовая гигантов») помещены во многих популярных изданиях. Вязкая кислая лава извергается небольшими порциями, зачастую в виде пирокластического материала. Массовые излияния, при которых образуются крупноплитчатые отдельности, сравнительно редки; соответственно, большинство риолитов распадается почти исключительно на щебень (рис.5). Вулканы среднего состава на ранних стадиях дают в основном обломки крупности камней, но в дальнейшем также довольно быстро выветриваются до щебня.

У метаморфических пород характер трещиноватости в начальных фазах преобразования изменяется мало. Но на глубоких стадиях, когда под воздействием высоких температур и давлений происходит перекристаллизация образующих породу минералов, многие мелкие трещины зале-



Рис.4. Ход выветривания гранитоидов: скальные останцы распадаются на глыбы и камни, рассыпающиеся далее в дресву и песок.



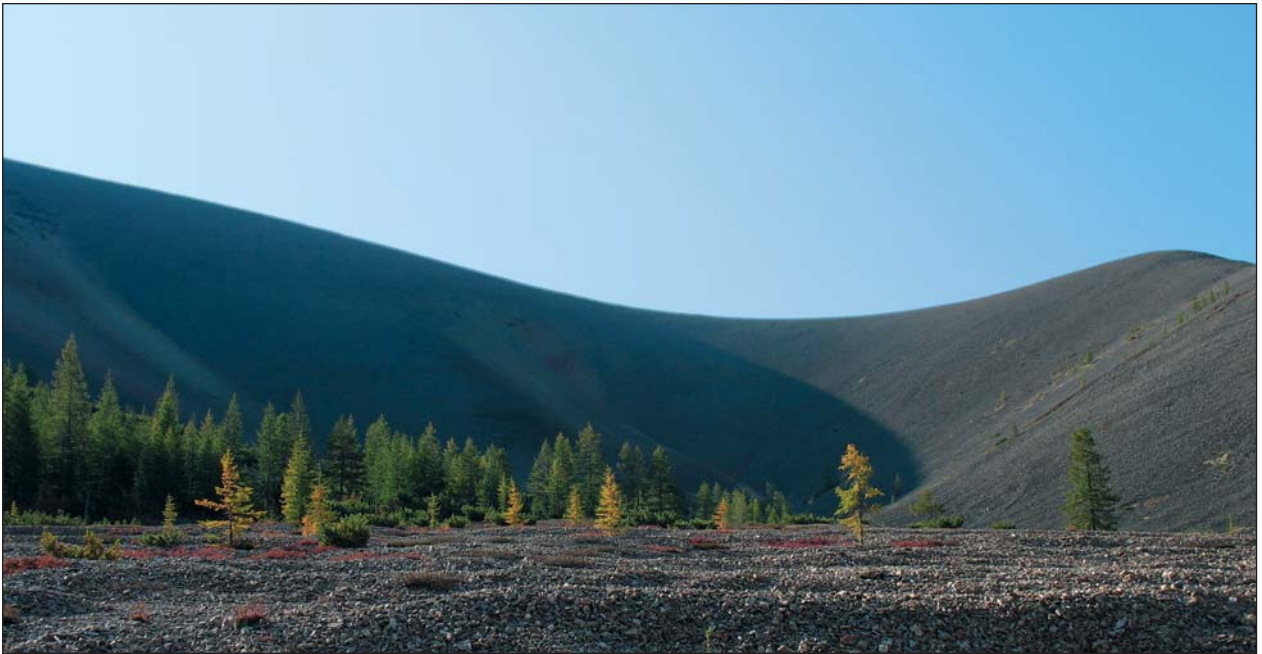


Рис.5. Горы, сложенные риолитами, нередко покрыты сплошным плащом щебня с небольшой примесью более мелких частиц.

чиваются. Поэтому ультраметаморфические и близкие к ним породы разрушаются преимущественно по глыбовому типу. Типичные примеры — кварциты и мраморы.

### Самые крайние крайности

Причина предельно контрастных различий рассматриваемых территорий заключается в конечном счете в подавляющем преобладании тех или иных коренных пород. На северо-востоке Среднесибирского плоскогорья это доломитизированные известняки, принадлежащие к глыбовому типу. Снимок на рис.1 характеризует начальные этапы глубинной эрозии и может создавать впечатление, что процесс развивается весьма интенсивно. На самом деле он «протекает настолько медленно, что за это время даже окружающие крепкие породы успевают подвергнуться выветриванию, рассыпаться на глыбы, которые процессами денудации перемещаются вниз, в русло реки, еще более затрудняя ее врезание» [1. С.118]. Поэтому на заключительных этапах, когда у реки появляется зачаточная намывная пойма, она по большей части граничит уже со сравнительно пологими склонами (рис.6). К характеристике, данной Билибиным, остается лишь добавить, что мелкие обломки составляют сравнимую, или, скорее, большую, долю поступающего в русло рыхлого материала (рис.4). Они быстро перемещаются вниз по течению, мало способствуя измельчению перлювия и углублению коренного ложа. В совокупности все эти особенности поддерживают де-

фицит руслоформирующих наносов до тех пор, пока постепенно понижающаяся транспортирующая способность потока (из-за уменьшения его продольного уклона) не сравняется с также убывающей интенсивностью их поступления.



Рис.6. Глубинная эрозия близится к завершению (р.Эбелях, крупный приток Анабара).





Рис.7. Водоток III порядка (на переднем плане) в стадии боковой эрозии.

Переход к боковой эрозии сопровождается дальнейшим выполаживанием склонов (рис.7). На них часто формируется квазиортогональная сетка *деллей* (безрусловых, почти не выраженных в рельефе, ложбин стока) и пологих уступов, образованных *солифлюкцией* — медленным сползанием по мерзлomu водоупору переувлажненных тонкодисперсных грунтов, в толще которых взвешены более крупные обломки. Эта стадия здесь еще более растянута во времени: образовавшиеся ранее из глыбово-каменного материала дресва и крупный песок успевают, в свою очередь, выветриться до пыли и глин. В результате еще до окончательного наступления динамического равновесия прямые склоны долины сменяются вогнутыми, что отражает замедление их дальнейшей трансформации (рис.8).

Горы Сахалина сложены в основном палеоген-неогеновыми алевролитами, очень молодыми и слабо литифицированными осадочными породами. Они легко распадаются не только на щебень, но и на более мелкие обломки (рис.9) и поэтому стоят особняком, далеко уступая по устойчивости к выветриванию даже породам щебнистого типа. В водных потоках эти обломки продолжают интенсивно измельчаться (наименее плотные попросту размокают, а некоторые из более прочных, окатанных до галек, можно разламывать

пальцами), давая большие количества взвешенных частиц, которые тут же удаляются за пределы горных сооружений. Отсюда колоссальные различия в скоростях глубинной и боковой эрозии по сравнению с породами глыбового типа, выражающиеся, вероятно, не просто порядками, а многими порядками величин. При этом глубина современного эрозионного вреза никак не соответствует суммарному денудационному срезу интенсивно воздымающихся гор, которые при большей стойкости пород могли бы конкурировать с высочайшими хребтами. Их податливость подчеркивается сильнейшим расчленением водоразделов (рис.2, 3), напоминающих растянутый по вертикали овражно-балочный рельеф деградирующих пахотных земель.

Возвращаясь к плоскогорьям, или, точнее, к равнинам, прорезанным горными реками, стоит подчеркнуть, что это — пенелены отнюдь не современные (как можно понять из некоторых региональных физико-географических описаний), а *бывшие*, приподнятые неотектоническими движениями и вовлеченные в новый эрозионный цикл. При этом на окраине Среднесибирского плоскогорья реки, проходящие начальные этапы врезания (рис.1), от стадии динамического равновесия отделяет дистанция максимум в несколько десятков метров (имея в виду отметки тальвегов); на заключительных этапах (рис.6)



Рис.8. Стадия расширения долины почти закончилась, хотя речное русло местами еще подмывает коренные склоны (правая часть снимка).

она измеряется уже метрами. Но из-за очень низкой интенсивности глубинной и боковой эрозии для преодоления этой дистанции требуются геологически значимые промежутки времени. Кроме того, достижение равновесия речной сетью вовсе не означает, что рельеф в целом также близок к климаксовой стадии развития: для этого необходима прежде всего полная денудационная переработка междуречий, которая продолжается все более угасающими темпами. Иными словами, между окончанием эрозионного цикла (в его современном понимании) и даже неполным завершением цикла географического лежит еще очень и очень большая временная дистанция. (Логически этот цикл замыкается дальнейшим преобразованием пенеплена в эрозионную равнину — «совсем равнину». Но сам создатель теории высказывался на эту тему подчеркнуто скупое. Дело в том, что вероятность формирования таких равнин исчезающе мала, не говоря уже о сохранении их остатков на современном этапе преобладания восходящих движений земной коры. Собственно, по этой причине и был «придуман» пенеплен, в реальности которого усомниться намного сложнее.) Восстановление пенеплена в масштабах хотя бы окраин Среднесибирского плоскогорья даже при абсолютном тектоническом покое потребует, по-видимому, геологических эпох. При тех же условиях гораздо быстрее пенеплен сформируется на месте молодых, ныне все еще растущих гор, сложенных породами щебнистого типа, либо еще менее стойкими, т.е. «наилучшие» перспективы в этом отношении у резко расчлененных гор Сахалина. Другое дело, что вряд ли этим участкам земной поверхности будут предоставлены равные условия.

И в заключение — замечание, побуждающее к дальнейшим размышлениям. Коренные породы, слагающие горы Сахалина и Среднесибирское



Рис.9. Стенка «свежей» траншеи, пройденной экскаватором в палеогеновых алевролитах.

плоскогорье, — антиподы по части сопротивляемости как выветриванию вообще, так и эрозионному разрушению в частности. Тем не менее результат эволюции водотоков в обоих случаях одинаков: они вырабатывают меандрирующие русла (см. рис.2, 8). Крайности, следуя известной максиме, сходятся. Получается, что на долю рек, разветвленных на рукава, остается «золотая середина». Обоснование такого предположения требует самостоятельного анализа. ■

## Литература

1. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М., 1955.
2. Дэвис В.М. Геоморфологические очерки. М., 1962.
3. Тимофеев Д.А. Терминология флювиальной геоморфологии. М., 1981.
4. Карташов И.П. Основные закономерности геологической деятельности рек горных стран (на примере Северо-Востока СССР). М., 1972.
5. Михайлов В.М. // Колыма. 2001. №2. С.22—27.
6. Пенк В. Морфологический анализ. М., 1961.
7. Воробьев И.В., Горшков С.П. // Вестник МГУ. Геология. 1975. №5. С.51—59.
8. Рухин Л.Б. Основы литологии. Л., 1969.
9. Добровольская Н.Г., Лодина Р.В., Чалов Р.С. // Геоморфология. 1991. №1. С.59—64.