

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.4551.79

ФОРМИРОВАНИЕ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ЦИКЛОВ ГОРНЫХ РЕК

© 2021 г. С. А. Несмеянов^{1,*}

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН),
Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: voa49@mail.ru

Поступила в редакцию 19.03.2021 г.

После доработки 05.04.2021 г.

Принята к публикации 13.04.2021 г.

Представление о строении эрозионно-аккумулятивных циклов террасообразования горных рек последовательно усложняется по мере накопления новых материалов и появления оригинальных идей. Сначала оно было дополнено выделением четырех последовательных стадий формирования аллювия: инстративной, субстративной, констративной и перстративной стадиями. Позднее пришло понимание, что граница эрозионной и аккумулятивной фаз цикла проходит внутри субстративной стадии, а граница разновозрастных циклов – внутри перстративной стадии. Эрозионная фаза делится на подфазы углубляющей и боковой эрозии. Подфаза углубляющей эрозии объединяет конец перстративной и начало инстративной стадий. Подфаза боковой эрозии, определяющая ширину днища долины, относится к субстративной стадии. Узкий инстративный врез переуглубляет субстративное днище долины. Основная часть аллювия формируется на констративной стадии. Глубина эрозионного вреза определяется величиной орогенического импульса, а ширина вреза – водобильностью, имеющей климатическую природу. Преимущественное развитие углубляющей эрозии совпадает с похолоданием и горным оледенением, а максимум потепления – с субстративной стадией. При прогрессирующем орогенезе в горных долинах формируется тыловая террасовая лестница. Возраст ее ступеней определяет время прекращения углубляющей эрозии и консервации этого участка долины. Долинные ледники переползают со ступени на ступень, и их фронтальные морены фациально замещаются разновозрастными флювиогляциальными и аллювиальными отложениями.

Ключевые слова: *терраса, эрозионно-аккумулятивный цикл, эрозионная и аккумулятивная фазы, подфазы углубляющей и боковой эрозии, инстративная, субстративная, констративная, перстративная стадии формирования аллювия, тыловая террасовая лестница*

DOI: 10.31857/S086978092104007X

ВВЕДЕНИЕ

Представление о роли и природе эрозионно-аккумулятивной цикличности в формировании горных долин имеет длительную историю. Исходной можно считать идею В. Пенка о строении террасовых “лестниц”, которая активно развивалась у нас в стране С.С. Шульцем, Н.П. Васильковским, Ю.А. Скворцовым, Н.П. Костенко и другими исследователями. Особенно плодотворными оказались воззрения Ю.А. Скворцова [18], который полагал, что каждая региональная терраса имеет индивидуальные черты распространения и строения, свойственные долинам определенного этапа развития гидросети, т.е. самостоятельной “террасовой долине”. А история развития рельефа горной области сводится, по его мнению, главным образом к истории ее гидросети. Эти представления еще в 30–50-х годах прошлого века легли в основу стратификации и

корреляции террасовых образований Средней Азии и других регионов. Они же были использованы Н.П. Костенко [2] для создания оригинальной методики картирования эрозионных террасовых образований. На основе всех этих достижений было проведено мелкомасштабное картирование террасовых образований и построение палеореконструкций горного рельефа ряда регионов Средней Азии [11, 19, 20 и др.].

Все упомянутые построения опираются на суждения об этапности развития горного рельефа как о смене ряда последовательных эрозионно-аккумулятивных циклов. Между тем понимание деталей строения таких циклов неоднозначно, как неоднозначны мнения о коррелируемых геоморфологических уровнях и строении верховьев крупных горных рек, особенно занятых долинными ледниками. А такое понимание необходимо не только для правильного возрастного расчленения

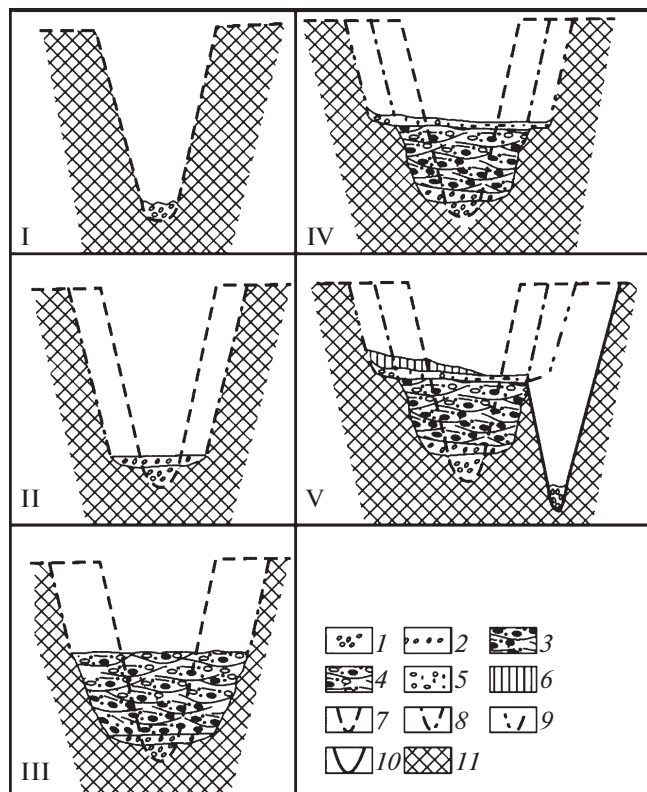


Рис. 1. Схема последовательности формирования цикловой террасы (по [12] с небольшими изменениями). Стадии: I – инстративная, II – субстративная, III – констративная, IV – перстративная, V – инстративная следующего цикла.

1 – галечно-валунные отложения с глинисто-песчаным заполнителем, 2 – базальные брые конгломераты и валунные галечники, 3 – серовато-брые крепко сцементированные линзовидно-слоистые конгломераты и галечники, 4 – буровато-серые слабо сцементированные конгломераты и галечники, 5 – серые рыхлые (сыпучие) галечники с песком, 6 – пролювиально-делювиальные покровные отложения, 7–10 – контуры эрозионных врезов разных стадий цикла: 7 – инстративной, 8 – субстративной и констративной, 9 – перстративной, 10 – инстративной следующего цикла; 11 – коренной когель.

горного рельефа и анализа новейших тектонических структур, но и для расчета поэтапных орогенических движений и проведения детальных количественных реконструкций палеорельефа.

Цель настоящего исследования – уточнение стадийности и природы эрозионно-аккумулятивной цикличности и ее влияния на типизацию террасовых уровней в горных долинах.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ЦИКЛОВ ГОРНЫХ РЕК

Представления о простой смене эрозионной фазы фазой аккумулятивной в эрозионно-акку-

мулятивном цикле горных рек уже давно трансформировались в более сложную схему, согласованную с последовательным формированием инстративного, субстративного, констративного и перстративного аллювия в соответствующие последовательные стадии развития такого цикла (рис. 1) [4, 6, 7]. В этой схеме намечены сложные сочетания эрозионных и аккумулятивных элементов в эрозионной и аккумулятивной подфазах эрозионно-аккумулятивного цикла [12, 14, 15]. Основной материал для описываемых далее построений опирается преимущественно на изучение горных рек Средней Азии.

Инстративная стадия определяется максимальной глубинной эрозией, когда днище узкого (у крупных рек шириной до 50–150 м) вреза выполняется тальвеговым аллювием – валунно-галечными плохо сортированными и окатанными, рыхлыми или слабо и неравномерно сцементированными отложениями с большим содержанием гравийно-песчано-суглинистого заполнителя. Слоистость груба или не просматривается. Отмечаются хаотические текстуры, свойственные осадкам бурных потоков, сконцентрированных в узких ущельях. Формирование данной толщи отвечает завершению главной эрозионной фазы эрозионно-аккумулятивного цикла.

Субстративная стадия определяется активизацией боковой эрозии (“речной абразии”), формирующей широкое (до 1 км и более) плоское днище главного эрозионного вреза, на котором отлагается базальный маломощный (0.5–4 м), крепко сцементированный конгломерат с галькой разной степени окатанности и малым содержанием песчано-суглинистых фракций. Стадия отвечает динамическому равновесию между эрозионной и аккумулятивной фазами одного эрозионно-аккумулятивного цикла. В ней подстадия преобладания боковой эрозии должна относиться к эрозионной фазе, а подстадия накопления базального аллювия – к аккумулятивной фазе. Но на самом деле эти подстадии практически одновременны.

Констративная стадия характеризуется преимущественной аккумуляцией и знаменуется выполнением главного эрозионного вреза мощной (у больших рек до 30–150 м) толщей ритмичного чередования крупно-, средне- и мелкогалечных слоев с преимущественно средней и хорошей окатанностью гальки и разной степенью ее цементации. В каждом ритме базальные крупно- и среднегалечные слои имеют большую мощность, чем верхние мелкогалечные и песчано-гравийные. К верхам ритма обычно ослабевает цементация, и улучшается проницаемость слоев. Боковая эрозия блуждающего по пойме русла незначительна. Но и она иногда создает небольшие уступы (“запечи”) в коренных бортах долины,

которые можно рассматривать в качестве своеобразных террас врезывания. Однако они образуются при восходящем (аккумулятивном) движении русла, которое в процессе осадконакопления поднимается над цоколем днища эрозионного вреза. А поэтому данные террасы могут считаться террасами “*восходящего врезывания*”, в отличие от обычных террас врезывания, которые формируются при углубляющей эрозии и, соответственно, именуются террасами “*нисходящего врезывания*”. О малой интенсивности боковой эрозии свидетельствует незначительная примесь местного склонового материала среди “транзитной” хорошо окатанной гальки. Констративная стадия отвечает основной части аккумулятивной фазы эрозионно-аккумулятивного цикла. Ритмичность осадконакопления свидетельствует о том, что данная фаза указанного цикла сама состоит из серии циклов более высокого порядка или порядков.

Перстративная стадия отвечает динамическому равновесию, когда русловая аккумуляция в долине завершается накоплением маломощного (2–3 м) хорошо окатанного и промытого (т.е. почти лишенного глинистых фракций) галечника с гравийно-песчаным заполнителем. Слой формируется в процессе боковой миграции русла, когда перемываются верхи аллювия констративной стадии. При этом часто возможно развитие боковой эрозии с некоторым, а иногда и значительным расширением долины на уровне кровли аллювиального чехла цикловой террасы. К этой же стадии относится и формирование серии сближенных по высоте террас “нисходящего врезывания”, которые обычно вложены в констративный аллювий. Перстративная стадия динамического равновесия располагается на рубеже двух смежных эрозионно-аккумулятивных циклов. Поэтому она может считаться “межцикловой” в отличие от “внутрицикловой” субстративной стадии динамического равновесия.

В перстративной “межцикловой” стадии естественно обособляются две подстадии. Первая подстадия, в которую активизируется боковая эрозия, и накапливается верхний слой перстративного аллювия, связана с завершением аккумулятивной фазы предшествующего эрозионно-аккумулятивного цикла. Вторая подстадия, которой отвечают террасы “нисходящего врезывания”, знаменует уже начало эрозионной фазы следующего цикла.

Таким образом, рассматриваемая 4-членная схема руслового осадконакопления в каждом эрозионно-аккумулятивном цикле включает две основные и две переходные стадии. Соответственно аккумулятивная фаза начинается со второй подстадии субстративной стадии, включает всю констративную стадию и первую подстадию

перстративной стадии. Эрозионная фаза начинается с формирования локальных террас “нисходящего врезывания”, т.е. со второй подстадии перстративной стадии, включает образование глубокого эрозионного вреза с инстративным аллювием и завершается активизацией боковой эрозии на первой подстадии субстративной стадии.

Поскольку в горных долинах глубина узкого вреза, как правило, в несколько раз превышает мощность выполняющего его аллювия всех четырех перечисленных выше стадий, время его формирования с учетом “пропиливания” прочного цоколя, по-видимому, соизмеримо с продолжительностью каждой из этих стадий. Это “пропиливание” осуществляется бурным водотоком при истирающем участии валунно-галечного тальвегового аллювия, который начинает образовываться, очевидно, с момента завершения свободного меандрирования русла, т.е. с прекращением отложения перстративного аллювия на террасах “нисходящего врезывания”. Однако в разрезе цикловой террасы сохраняется инстративный (тальвеговый) аллювий только последнего геологического “мгновения” глубинной эрозии.

Поскольку переходная стадия динамического равновесия начинается с активизации боковой эрозии и расширения долины, реальный геоморфологический профиль каждого эрозионно-аккумулятивного цикла имеет более сложное строение, чем в схеме, предложенной в 30-х годах прошлого века С.С. Шульцем [21, 22] и включающей борт и днище вреза. Днище (площадка) главного эрозионного вреза часто осложнено небольшим узким переуглублением, выполненным инстративным аллювием, а борта (склоны) главного вреза — перегибами на уровне кровли аллювия, перекрытыми перстративным аллювием или покровными отложениями.

Следует отметить, что в горных долинах пойменный аллювий, представленный тонкослоистыми песками, супесями и суглинками, обычно не образует сплошного покрова, а развит спорадически на перстративном аллювии или образует линзы в констративном аллювии [4, с. 100]. В констративном аллювии он обычно завершает седиментационные циклы. Их анализ может дать ключ к детальной корреляции аллювиальных толщ.

Некоторыми авторами подчеркивается, однако, хотя и ритмичный, но линзовидный характер слоистости констративного аллювия, ее образование объясняется влиянием блуждающих разветвленных русловых протоков [4, с. 98]. Но эта линзовидность лишь маскирует основную цикличность руслового осадконакопления. Поэтому при достаточно хорошей обнаженности констративного аллювия, в нем удастся проследить пачки слоев, отвечающие седиментационным циклам.

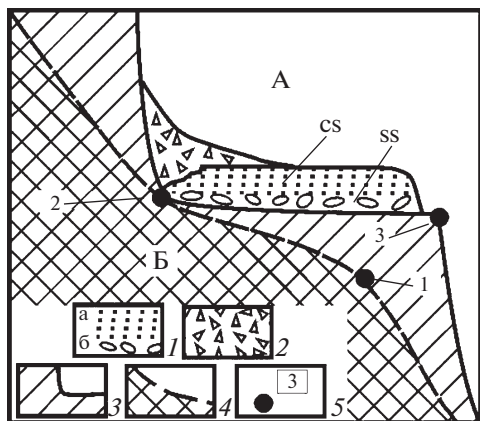


Рис. 2. Сопоставление геоморфологических профилей: А – исходной террасы, Б – современного перегиба на эрозионном гребне.

1 – аллювий: а – констративный (cs), б – субстративный (ss); 2 – склоновые гравитационные отложения; 3 – коренные породы склона и цоколя террасы; 4 – коренные породы, слагающие эрозионный гребень; 5 – точки перегибов склона: 1–2 – на террасовидном останце (1 – бровка, 2 – тыловой перегиб), 3 – бровка цоколя террасы.

Последние нередко разделяются поверхностями размыва, свидетельствующими о приостановках седиментации, т.е. кратковременных второстепенных фазах динамического равновесия с активизацией боковой эрозии. При этом иногда образуются упоминавшиеся выше “заплечики” в бортах заполняемого аллювием широкого эрозионного вреза (террасы “восходящего врезывания”).

ТИПИЗАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ТЕРРАСОВЫХ УРОВНЕЙ В ГОРНЫХ ДОЛИНАХ

Из предшествующего изложения следует, что рассмотренная выше схема строения эрозионно-аккумулятивного цикла предусматривает существование в горных долинах террасовых уровней разной природы и значимости.

Главными считаются региональные (или цикловые) террасы, формирующиеся в результате проявления всех 4-х основных стадий эрозионно-аккумулятивного цикла. Поскольку аллювий инстративной стадии сохраняется локально, типичным является разрез, в котором на практически горизонтальном цоколе залегает разнородный аллювий: сначала субстративный, затем констративный и местами варианты перстративного.

Было также показано, что в бортах горных долин могут локально сохраняться второстепенные террасовые уровни различной природы. Поэтому при геоморфологическом расчленении и корреляции необходимо отличать от региональных (цикловых) террас *три типа дополнительных тер-*

расовых уровней, формирующихся в разные фазы эрозионно-аккумулятивного цикла:

1) *террасы “нисходящего врезывания”* с перстративным аллювием, образованные при смещении меандра вниз по долине во время начавшегося сужения долины в самом начале эрозионной фазы главного эрозионно-аккумулятивного цикла;

2) *“уровни расщепления” региональных террас*, обусловленные проявлением иерархической цикличности эрозионного расчленения рельефа, т.е. террасы с инстративным аллювием, отвечающие стадийности углубления долины в основной части эрозионной фазы главного цикла;

3) *террасы “восходящего врезывания”* с констративным аллювием, образованные планацией, аккумулирующих (аккумулятивно воздымающих) русел.

Террасы “нисходящего врезывания” образуются, очевидно, преимущественно при эрозии относительно рыхлых толщ аккумулятивного чехла цикловой террасы, когда углубляющееся русло сохраняет еще более или менее широкую пойму и способно смещать по ней свои меандры. Врезаясь в более прочные породы, особенно в цоколь, русло концентрируется, либо спрямляясь, либо образуя врезанные (“мертвые”) меандры. В этих условиях и формируются “уровни расщепления”.

Террасы “восходящего врезывания”, являясь элементом строения самой цикловой террасы, имеют высотную последовательность (чем выше, тем моложе), обратную последовательности остальных региональных и локальных террас (чем выше, тем древнее).

МЕТОДИКА КОРРЕЛЯЦИИ ТЕРРАСОВЫХ УРОВНЕЙ В ГОРНЫХ ДОЛИНАХ

Рассмотренная выше стадийность формирования каждого эрозионно-аккумулятивного цикла позволяет уточнить традиционную методику восстановления исходных террасовых уровней на геоморфологических профилях и их дальнейшей корреляции. Дело в том, что при подобной корреляции на эрозионных гребнях в рельефе бортов горных долин по аналогии с хорошо сохранившимися террасами обычно используется бровка современного террасовидного останца (точка 1 на рис. 2). Но если использовать данные о строении исходных террас, этот перегиб оказывается существенно заниженным по отношению к первоначальной бровке цоколя террасы (точка 3 на рис. 2).

В большом числе реальных обнажений хорошо сохранившихся террас в узких горных долинах, цоколь, перекрываемый субстративным аллювием (ss на рис. 2), обычно практически горизонтален. Даже при значительных перекосах долин,

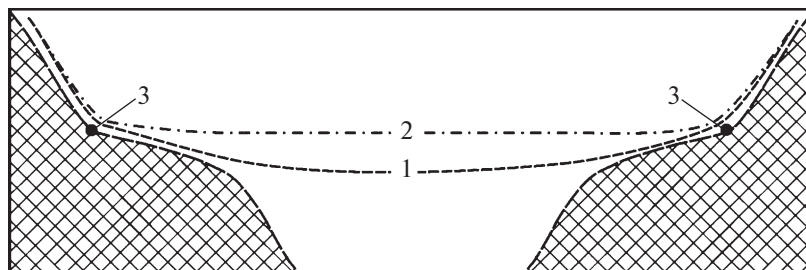


Рис. 3. Соотношение традиционного (1) и рекомендуемого (2) вариантов трассировки днищ палеодолины; 3 — точки тылового перегиба склона.

днища древних террасовых уровней оказываются наклонены незначительно (редко с уклонами порядка 0.01). Поэтому использование бровок на сильно денудированных гребнях дает существенно искаженную информацию о современном положении древних террасовых уровней.

Если сравнить исходное положение террасового уровня и обычно встречающиеся его древние останцы (см. рис. 2), то окажется, что наиболее достоверную информацию о современном положении цоколя древней террасы несет перегиб между останцами борта и днища эрозионного вреза (точка 2 на рис. 2) на картах возрастного расчленения рельефа.

Именно этот перегиб целесообразно использовать при реконструкциях палеорельефа [17]. Правда для особенно широких и длительно формировавшихся долин допускается, что такой перегиб может располагаться на уровне констративного аллювия (с) в центре подобной долины. Но эти центральные части таких широких древних долин практически никогда не сохраняются в современном рельефе и не используются при реальной геоморфологической корреляции террасовых образований. А в их прибортовых частях эти перегибы также близки к цоколям в подошве субстративного аллювия, как и в относительно узких долинах. Поэтому при геоморфологической корреляции древних террасовых уровней рационально использовать именно тыловые перегибы, отвечающие сочленению борта эрозионного вреза с его днищем (рис. 3). Сказанное относится в первую очередь к реконструкциям относительно узких долин. Днища широких долин могут прогибаться за счет неравномерности вертикальных тектонических движений.

Следует также отметить, что при оценке глубин поэтапных эрозионных врезов используется именно днище обычно картируемого широкого (субстративного) вреза и не учитывается его переуглубление, выполненное инстративным аллювием.

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОГО И КЛИМАТИЧЕСКОГО ФАКТОРОВ НА СТАДИЙНОСТЬ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ЦИКЛОВ

Связь эрозионных фаз эрозионно-аккумулятивных циклов с тектоническими импульсами в орогенах принимается большинством исследователей. Как указывает Н.И. Маккавеев [8], ведущее значение тектонического фактора по сравнению с климатическим в развитии продольного профиля реки и формировании ее террас подтверждено гидрологическими наблюдениями и экспериментами. Именно прогрессивные представления об эрозионно-аккумулятивных циклах, производных от циклов тектонических, позволили уже к началу 60-х годов прошлого века создать четырехчленные региональные стратиграфические схемы неоплейстоцена и голоцена Средней Азии и Казахстана, хорошо коррелирующиеся между собой с помощью геоморфологических методов [11, 19, 20 и др.].

Детальная корреляция эрозионно-аккумулятивных циклов с тектоническими и климатическими циклами невозможна без анализа иерархии и соотношения их фаз. Исследования в этом направлении еще только начинаются. Но уже получены обнадеживающие результаты, на которых следует остановиться.

Особенности строения рассмотренных выше динамических фаз (стадий формирования) горного аллювия позволяют уточнить соотношение эрозионно-аккумулятивного цикла с тектоническим и климатическим циклами (табл. 1) [15].

Как уже отмечалось, границу смежных эрозионно-аккумулятивных циклов, отвечающую началу фазы глубинной эрозии, целесообразно совмещать с рубежом подстадий преобладания боковой и глубинной эрозии в перстративной стадии, а границу эрозионной и аккумулятивной фаз внутри цикла — с началом накопления субстративного аллювия, т.е. с серединой субстративной стадии.

Тектонический цикл в эпоху орогенеза начинается фазой активизации воздыманий. Нарушая

Таблица 1. Схема соотношения фаз эндогенной и экзогенной цикличности неоплейстоцена Средней Азии (заливка – активные фазы циклов)

Тектонические циклы	Проявления эрозионно-аккумулятивного цикла		Проявления климатического цикла					Горно-ледниковый цикл
	Эрозия	Аллювий в цикловой террасе	В аллювии		Фазы увлажнения	Температурные фазы	Фазы	
			окраска	карбонатность				
активная	углубляющая				?	холодная	наступления	
пассивная		перстративный	серая	слабая	аридная	теплая	отступления	
		констративный	буровато-серая	умеренная				
		субстративный	бурая	интенсивная				
?	боковая				плuviальная	холодная	наступления	
		инстративный	желто-бурая	слабая				
	углубляющая							?
	активная	перстративный	серая	слабая				аридная
?								

профиль равновесия, активизация воздыманий очень скоро находит отражение в приостановке аккумуляции и активизации глубинной эрозии. Тем не менее, самое начало повышения тектонической активности может несколько опережать начало глубинной эрозии. Но и сама эта эрозия начинается не мгновенно по всей долине, а развивается регрессивно (“пятающаяся эрозия”) вверх по долине. Однако в областях дифференцированных поднятий регрессивная эрозия начинается не только от главного базиса эрозии или края орогена, но и от фаса каждого относительно активнее воздымающегося блока или складки [10, с. 138]. Поэтому нельзя исключать, что начало тектонической активизации хотя и может отвечать еще концу аккумулятивной фазы, по крайней мере, началу ее перстративной стадии, но вряд ли это опережение будет более значительным.

Климатический цикл обычно проявляется в колебаниях температуры и увлажненности. Рубежи этих производных циклов могут не совпадать между собой, и не исключено, что в разных регионах планеты характер их соотношения меняется. Имеющийся материал, по-видимому, представляет для Средней Азии и прилегающих областей, а некоторые исследователи допускают синхронность климатических изменений во всей афро-азиатской части пустынного пояса северного полушария [9, с. 11].

Для разновозрастного аллювия Средней Азии отмечается однотипность изменения окраски при смене стадий аккумуляции. У инстративного аллювия окраска желто-бурая, у субстративного — бурая, у констративного — серовато-бурая, а у перстративного — серая. Поскольку красноватые и бурые окраски традиционно считаются показателями теплого климата, а серые — холодного, указанная последовательность смены окрасок интерпретируется как принадлежность инстративного, субстративного и констративного аллювия к теплой фазе, т.е. межледниковьям и интерстадиалам, а перстративного — к холодной [4]. При этом максимум красноцветности и потепления приходится на время накопления субстративного аллювия, а завершение холодной стадии происходило, очевидно, перед накоплением сохранившегося в разрезе цикловой террасы инстративного аллювия. Следовательно, холодная фаза температурного цикла значительной своей частью и, очевидно, максимумом совпадала с углубляющей эрозией эрозионной фазы эрозионно-аккумулятивного цикла. Эта холодная фаза лишь незначительно захватывала своим началом самый конец аккумулятивной фазы эрозионно-аккумулятивного цикла, т.е. первую подстадию перстративной стадии. В таком случае холодная фаза температурного цикла оказывается весьма сближенной с активной фазой тектонического цикла [12, 14].

Карбонатная цементация, максимальная у субстративного аллювия и значительная у констративного, интерпретируется как показатель теплого и сухого, т.е. аридного климата. Как показали палеоклиматические исследования верхнего плейстоцена и голоцена Северной Африки и Юго-Западной Азии, влажные (плювиальные) фазы были более короткими, чем аридные, и соответствовали преимущественно эпохам распада ледниковых покровов в субарктическом и умеренном климатических поясах. А в периоды максимального разрастания таких покровов в примыкавшем к перигляциальной зоне пустынном поясе устанавливался, вероятно, прохладный, но сухой климат. Межледниковья также были преимущественно сухими [9, с. 11]. Поэтому эпоха накопления перстративного аллювия вряд ли была влажной.

Рассматривая сохранившиеся в рельефе эрозионные врезы с учетом схемы стадийности аллювиальной седиментации, приходится констатировать, что в пределах каждого эрозионно-аккумулятивного цикла в горных областях эти врезы формируются двустадийно. В каждой эрозионной фазе следует выделять две разобщенных подфазы: подфазу углубления вреза и подфазу расширения вреза. Эти подфазы имеют разную природу и значительную продолжительность.

Подфаза углубления эрозионного вреза имеет в основном тектоническую природу и развивается за счет увеличения уклонов русла рек после каждого орогенического импульса и соответствующего значительного повышения “живой силы” воды при увеличении скорости руслового потока (в формуле учитывается квадрат скорости). Такой поток стремился к восстановлению профиля равновесия за счет активизации глубинной эрозии. Эта подфаза начинается в конце перстративной стадии формирования аллювия и заканчивается в конце эрозионной фазы инстративной стадии. Данная подфаза углубления эрозионного вреза длительна, поскольку она сопровождается размывом значительного массива скальных пород, служащих цоколем аллювиальных накоплений. Величина поэтапного вреза в горных долинах оценивается для позднеплейстоценовых врезов несколькими десятками метров, а у среднеплейстоценовых — сотнями метров. Глубина таких врезов многократно, часто на порядок величин превышает мощность аллювиальных отложений.

Подфаза углубления эрозионного вреза отвечает в основном холодной фазе климатического цикла или смежным частям холодной и теплой климатических фаз. В аридной зоне она завершается также плювиальной фазой, повышающей дополнительно и водообильность этого потока. Орогенический импульс, частично предшество-

вавший началу активизации глубинной эрозии, скорее всего, более или менее совпадал с перестративной и зарождением инстративной аллювиальными стадиями и с холодной температурной фазой.

Вторая подфаза расширения вреза за счет боковой эрозии, наступает после завершения инстративной аккумуляции и практически одновременно с накоплением субстративного аллювия. В это время максимум потепления, очевидно, сопровождался повышением водности рек за счет активизации таяния долинных ледников.

Расширение первоначально узкого эрозионного вреза (подфазы углубления) начинается после завершения орогенического импульса и достижения рекой профиля равновесия. В этот геологический момент русловой поток в разных тектонических блоках, которые он пересекает, располагался на эрозионном ложе наиболее активных поднятий или на инстративном аллювии разной мощности в блоках, воздымавшихся менее интенсивно. Мощность инстративного аллювия изменяется от 1–5 до 30–40 м, а в некоторых случаях достигает и более 80 м [7, с. 6, 8]. Это различие соответствует, очевидно, величине дифференцированности в воздымании блоков на данном этапе орогенеза. Но оно, как правило, многократно меньше общего воздымания при соответствующем импульсе орогенеза.

Расширение эрозионного вреза в поперечном сечении долины осуществляется по практически горизонтальному поклою. И это расширение реализуется одновременно с началом отложения относительно маломощного преимущественно валунно-галечного субстративного аллювия (его обычная мощность 1–4 м [7, с. 6]). Грубость и характер сортировки данного аллювия свидетельствуют о большой мощности и концентрации водного потока. Увеличение мощности водотока, как уже было сказано выше, определялось таянием ледника при потеплении климата.

Сразу после завершения отложения инстративного аллювия данный водный поток еще следовал вдоль оси долины и был практически прямолинейен. Этот поток мог осуществлять боковую эрозию за счет своего искривления. Как указывал И.С. Шукин [23, с. 238], *“экспериментальные исследования М.А. Великанова [1] показали, что меандры образуются даже водотоком, текущим первоначально в прямолинейном русле”* за счет поперечной циркуляции. Считается также, что начало меандрирования обуславливается и случайными обстоятельствами — отклонениями потока препятствиями, неровностями дна или впадением боковых притоков [24, с. 13–14]. При этом сказывается прямая зависимость радиуса кривизны излучин от мощности водотока [23, с. 244], а интенсивность боковой эрозии значительно усиливает-

ся, когда водоток ориентирован косо к борту долины, особенно на повороте в вершине излучины. Здесь увеличение живой силы потока в среднем составляет 50%, а в редких случаях почти удваивается [24, с. 13]. На форме расширения эрозионного вреза в период формирования субстративного аллювия сказывается и обычный процесс смещения всей системы излучин реки вниз по долине [23, с. 247]. Это смещение обуславливают *“циркуляционные течения на изгибе русла и своеобразное распределение поступательных скоростей по живому сечению потока при его повороте”* [24, с. 30]. *“Следствием подобного распределения скоростей в верхнем крыле излучины является эрозия внутреннего (выпуклого) берега и наращивание внешнего, а в нижнем крыле, наоборот, — аккумуляция у внутреннего и подмыв внешнего берега. Поэтому вся излучина перемещается вниз по реке”* [там же].

Расширение днища долины в подфазу активизации боковой эрозии также, как и в подфазу углубляющей эрозии, сопровождалось эрозией значительного массива скальных горных пород и потому не могло быть кратковременным.

Таким образом, углубление эрозионного вреза в горных долинах имело в основном тектоническую (орогеническую) природу, а расширение вреза и формирование его картируемого ныне днища — климатическую. Данная схема, с одной стороны, подтверждает единство тектоно-климатической этапности орогенического рельефообразования [11, 14], а с другой — свидетельствует о не простом чередовании эрозионной и аккумулятивной фаз эрозионно-аккумулятивного цикла, а о более сложном чередовании подфаз этих фаз.

Ледниковые фазы горного и равнинно-материкового оледенений совпадали не полностью. Неоплейстоценовые материковые ледниковые щиты Северной Евразии исчезали в межледниковья, а крупные горно-долинные ледники только сокращались. Но фазы наступания и равнинных, и горных ледников, очевидно, отвечали холодным фазам климатического цикла. Значит, у горных ледников эти фазы хотя бы частично совпадали с подфазой углубления эрозионного вреза.

ВАРИАНТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ЦИКЛОВ В СТРОЕНИИ ВЕРХОВЬЕВ ГОРНЫХ ДОЛИН

Важным, но недостаточно проработанным вопросом является представление о строении верховьев крупных горных долин, особенно занятых горными ледниками. В современных учебных пособиях для полукрытых долин (долин, начинающихся эрозионным цирком и заканчивающихся в другой реке или водоеме) обычно предлагает-

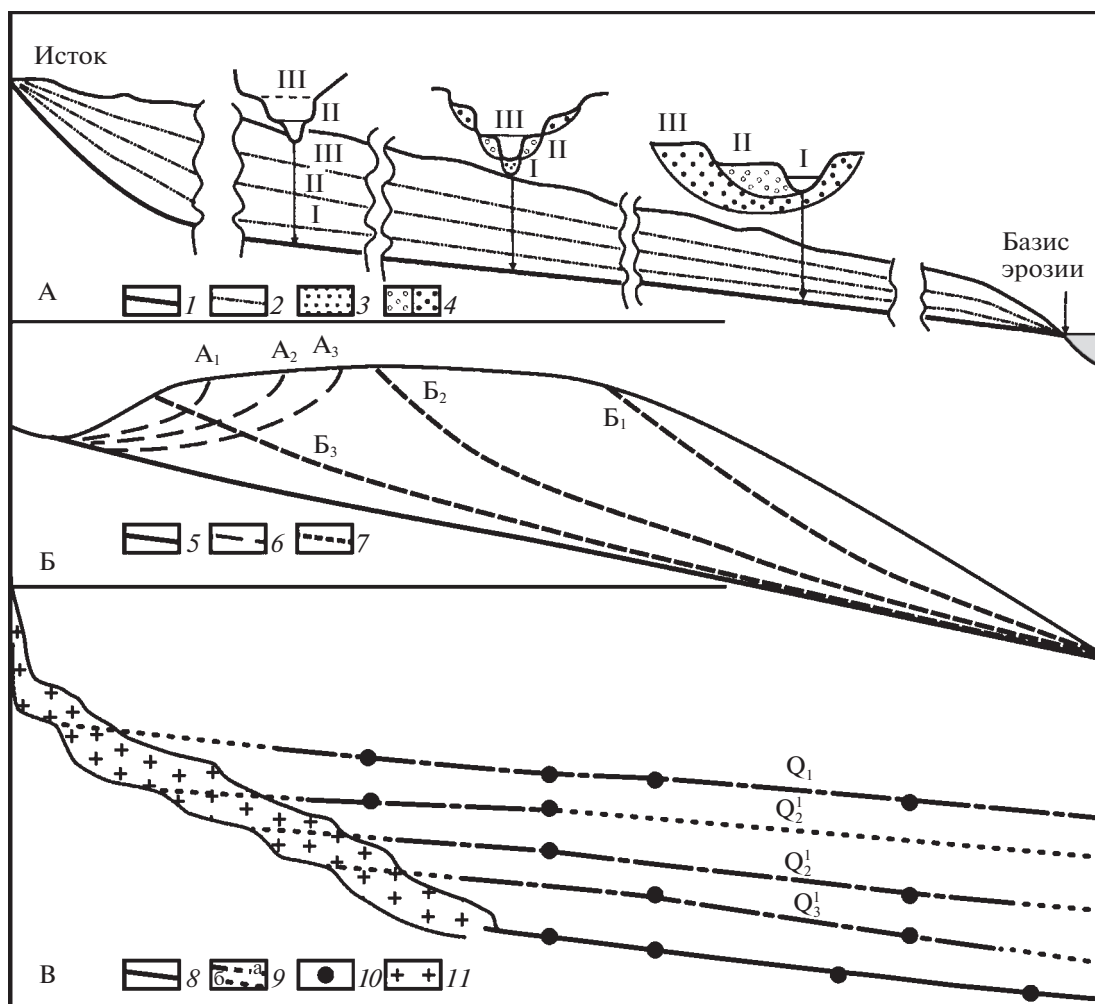


Рис. 4. Варианты строения продольного профиля речных долин: А, Б (по [3] с упрощениями): А – изменение строения полукоткрытой долины от истока до базиса эрозии; Б – развитие эпигенетической открытой долины. В – долина верховий р. Зеравшан с тыловой террасовой лестницей занятой ледником (по С.А. Несмеянову, [16]).

На А: 1 – современное русло реки, 2 – уровни региональных цикловых долин (I–III); 3–4 – на поперечных профилях – разновозрастные толщи аллювия: 3 – современные, 4 – древние.

На Б: 5–7 – уровни: 5 – современного русла реки, 6–7 – цикловых долин в пределах развивающегося локального поднятия: 6 – агрессивной реки (Б₁–Б₃), 7 – реки, развивавшейся медленнее (А₁–А₃) и ныне перехваченной.

На В: 8 – современное русло реки, 9 – террасовые уровни: а – достоверно установленные, б – предполагаемые; 10 – точки геодезических измерений, 11 – Зеравшанский ледник.

ся два варианта строения верховий речных террасовых рядов (рис. 4) [3, с. 219].

Первый вариант (А) представляет собой веер террас, начинающийся в точке истока и раскрывающийся вниз по долине. Этот вариант, очевидно, считается стандартным. Второй вариант (Б) с веером террас, раскрывающимся вверх по долине, характеризует развитие эпигенетической открытой долины [23]. По Н.П. Костенко [3, с. 219]: “На склонах возвышенностей реки развиваются регрессивно, их верховья растут вверх”. Н.П. Костенко специально отмечала, что в варианте развития эпигенетической долины (см. рис. 4Б) “может произойти сближение рек, продвигающихся

навстречу друг другу. На таком участке начинается борьба за область питания. Эта борьба всегда решается однозначно – в пользу реки, обладающей большей живой силой. Последняя определяется преимущественно величиной превышения верховья над устьем. Так, более агрессивная река Б в процессе своего развития (Б₁, Б₂, Б₃) может захватить область питания, а иногда и исток реки А, которая развивается медленнее (А₁, А₂, А₃). В итоге осуществляется перехват реки А рекой Б и образование общего стока”.

Такой вариант в принципе возможен, но он характерен для относительно небольших водотоков, расчленяющих своей эрозией уже существующую

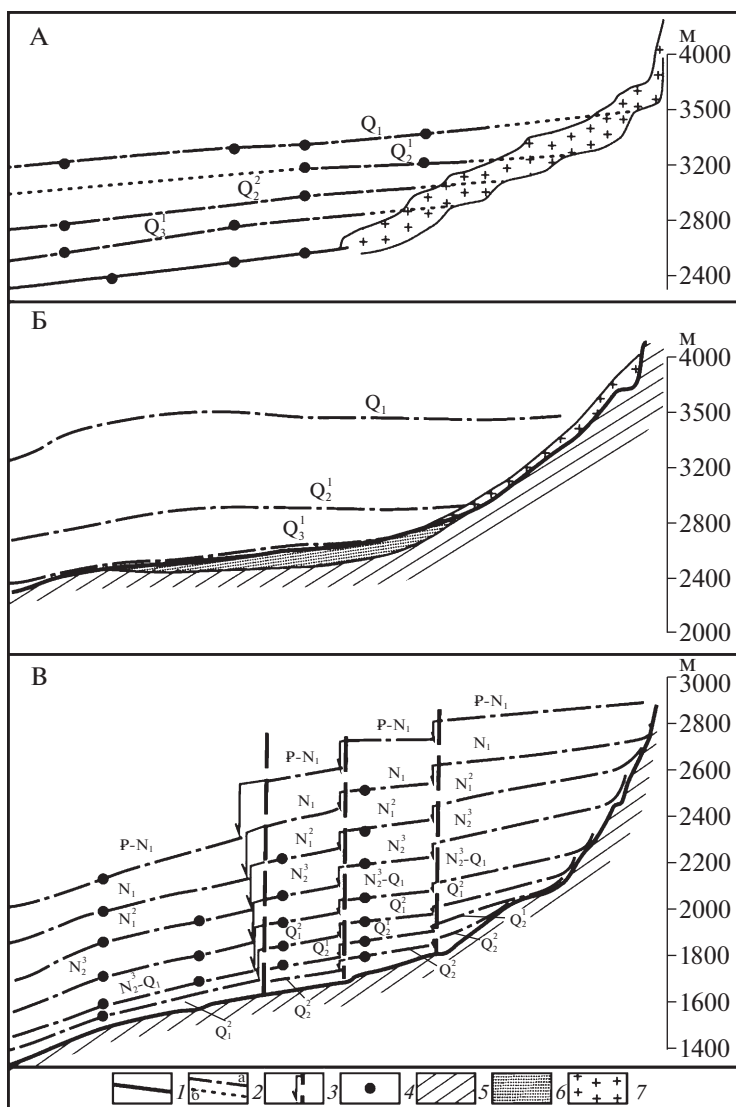


Рис. 5. Примеры тыловых террасовых лестниц: А – р. Зеравшан (по С.А. Несмеянову и И.И. Бархатову [16]), Б – р. Зеравшан (по О.К. Чедия [20]), В – р. Мзымта (по С.А. Несмеянову [13]). 1 – современное русло реки; 2 – террасовые уровни: а – достоверно установленные, б – предполагаемые; 3 – разрывные смещения террасовых уровней и их амплитуды, 4 – точки геодезических измерений; 5 – коренные породы; 6 – четвертичные аллювиальные отложения (Q_{3-4}); 7 – Зеравшанский ледник.

ющую возвышенность. В большинстве горных стран крупные хребты формировались, начинаясь с небольшой возвышенности, постепенно разрастаются вширь. При этом основные водотоки появляются уже на месте первичной возвышенности и последовательно осваивают ее поэтапно возникающие в рельефе краевые части или параллельные гряды своими трассами, которые ранее располагались на равнине, окружавшей первичную (осевую) гряду.

Однако, по мнению автора, прав был Ю. А. Скворцов, и на самом деле в подавляющем большинстве горных долин типичной является тыловая террасовая лестница – третий вариант (см. рис. 4В). Она зафиксирована детальной корреля-

цией террасовых и троговых уровней в различных горных странах. В качестве примеров (рис. 5) можно привести схемы террасовых рядов р. Зеравшан в Средней Азии [16, 20] и р. Мзымта на Кавказе [13].

Отмеченную ситуацию “переползания” современных крупных долинных ледников с одного тылового террасового уровня на другие, более молодые отмечали многие исследователи, что и послужило основанием для включения ее в учебные пособия по геоморфологии [23, с. 421]. Но обычно эти подледные уровни не коррелировались с террасовыми.

Проведенная корреляция террасовых уровней показала следующее. Во-первых, верховья речной долины, например, Зеравшана, где современный ледник “переползает” с более высоких террасовых уровней на все более низкие, отвечают законсервированной части долины. Во-вторых, конечные морены, флювиогляциальные и аллювиальные отложения каждого стратиграфического элемента залегают на едином эрозионном цоколе. В-третьих, из-под ледника в настоящее время вырывается мощный водный поток, со страшным грохотом ворожающий валуны. Соответственно, этот поток обладает весьма значительной эрозионной способностью. Поэтому при каждом благоприятном случае, связанном, например, с орогеническим импульсом, который увеличит уклон русла, подобный водоток сможет сформировать новый эрозионный врез. В-четвертых, по расположению и величине останцов разновозрастных террасовых уровней на разных бортах долины хорошо фиксируется различие поперечных тектонических перекосов, когда русло последовательно смещается то к одному борту долины, то к другому.

В охваченные оледенением верховья рек регрессивная эрозия проникала в самом конце эрозионной фазы, а эрозия последующего цикла обычно не достигала пределов эрозии предшествующего цикла, и таким образом в тыловой части горных долин формировалась повсеместно наблюдаемая ледниковая лестница. Соответственно многие ледники сначала продвигались по поверхности более древней террасы предшествующего эрозионно-аккумулятивного цикла. В этом случае ледниковой обработке подверглись только борта долины. Но в тех случаях, когда под ледником формировался мощный водоток, регрессивная эрозия могла предшествовать максимальному продвижению ледника. Тогда ледниковый язык, спускавшийся с одного террасового уровня на другой, оказывался в днище синхронного эрозионного вреза. В этом случае троговый облик приобретали не только борта, но и днище долины. Подобная ситуация подтверждается широко распространенным сопряжением днищ долинных трогов с цоколями аллювиальных террас [11, с. 123]. Следовательно, продвижение горных ледников могло продолжаться и в подфазу эрозионного расширения долин.

Естественно поэтому предположить, что в ледниковой фазе граница подфаз нарастания и распада горного оледенения близка к эпохе наиболее теплого и сухого климата, отвечающей времени накопления субстративного аллювия. Поэтому в разработанных частях горных долин разновозрастные морены, флювиогляциальные и аллювиальные отложения располагаются на единых цоколях, т.е. на соответствующих геоморфологических уровнях.

В законсервированных верховьях долин можно наблюдать соотношение молодого ледника с аллювием предшествующего эрозионно-аккумулятивного цикла. Так, на Восточном Кавказе в верховьях Кизику-Мухского Койсу описывается фациальное замещение перстративного аллювия флювиогляциальными отложениями и перекрытие флювиогляциальных отложений мореной, а в верховьях Сурхоба и других среднеазиатских рек — налегание на констративный аллювий флювиогляциальных галечников, которые, в свою очередь, перекрываются мореной долинного ледника [4, с. 99; 5, с. 53].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все вышеизложенное показывает, что исходные представления о простой двучленности эрозионно-аккумулятивного цикла в долинах горных рек нуждаются в учете многих осложняющих обстоятельств. По ряду направлений к настоящему времени достигнут определенный прогресс.

Детализация стадийности строения таких циклов позволила дифференцировать проявления тектонического и климатического факторов на разных стадиях активизации эрозии и аллювиальной аккумуляции.

Усложнилось представление о типизации террасовых уровней и вариантах геоморфологического строения верховьев горных долин.

Очевидно, выявленные разнообразные геоморфологические уровни в перспективе все полнее будут использоваться для геоморфологической корреляции и анализа этапности оргенеза. Кроме того, результаты детальной корреляции стадийности эрозионно-аккумулятивных циклов с тектоническими импульсами и климатическими изменениями, полученные в Средней Азии и на Кавказе, желательно сопоставить с подобными соотношениями в орогенах из иных климатических областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Великанов М.А.* Структурные формы русловой турбулентности // Изв. АН СССР, сер. геофизич., 1951. № 3.
2. *Костенко Н.П.* О принципах составления специальной геоморфологической карты // Бюлл. МОИП. 1961. № 26. С. 20–34.
3. *Костенко Н.П.* Геоморфология. 2-е изд. М.: МГУ, 1999. 383 с.
4. *Макарова Н.В., Макаров В.И., Акинин Б.Е.* Основные закономерности строения четвертичного аллювия и стадии формирования террас горных рек Средней Азии // Бюлл. КИПЧ. 1979. № 49. С. 90–104.
5. *Макарова Н.В., Макаров В.И., Соловьева Л.И.* О переработке древнего рельефа горных стран четвер-

- тичным оледенением // Геоморфология. 1980. № 1. С. 48–54.
6. Макарова Н.В., Чистяков А.А., Акинин Б.Е. Закономерности формирования мощности аллювия горных рек // Бюлл. КИЧП. 2008. № 68. С. 70–81.
 7. Макарова Н.В., Макаров В.И., Постоленко Г.А., Акинин Б.Е. Представительность аллювия для стратиграфии и корреляции четвертичных отложений // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 4. С. 1–23.
 8. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: МГУ, 1971. 115 с.
 9. Мамедов Э.Д. О плювиальных палеоклиматах пустынь в плейстоцене // Проблемы освоения пустынь. 1985. № 3. С. 10–16.
 10. Несмеянов С.А. К вопросу о стратиграфических схемах четвертичных отложений Западного Тянь-Шаня (в связи с существующими представлениями о развитии эрозионных циклов) // Бюлл. КИЧП. 1965. № 30. С. 136–144.
 11. Несмеянов С.А. Корреляция континентальных толщ. М.: Недра, 1977. 144 с.
 12. Несмеянов С.А. Методика изучения террасового генетического комплекса для анализа палеоэкологии палеолитических стоянок в горных областях // Методические проблемы реконструкций в археологии и палеоэкологии. Новосибирск: Наука, 1989. С. 225–260.
 13. Несмеянов С.А. Геоморфологические аспекты палеоэкологии горного палеолита (на примере Западного Кавказа). М.: Научный мир, 1999. 392 с.
 14. Несмеянов С.А. Генетические комплексы континентальных отложений. М.: Книга и Бизнес, 2012. 397 с.
 15. Несмеянов С.А. Оротектонический метод. М.: ООО “Миттель Пресс”, 2017. 376 с.
 16. Несмеянов С.А., Бархатов И.И. Новейшие и сейсмогенерирующие структуры Западного Гиссаро-Алая. М.: Наука, 1978. 120 с.
 17. Несмеянов С.А., Воейкова О.А., Мурый А.А. Методика построения среднемасштабных количественных палеореконовструкций рельефа приморского орогена // Геоэкология. 2016. № 1. С. 3–24.
 18. Скворцов Ю.А. Метод геоморфологического анализа и картирования // Известия АН СССР. Сер. Геогр. и геофиз. 1941. № 4–5. С. 501–522.
 19. Чедия О.К. Юг Средней Азии в новейшую эпоху горообразования. Кн. 1. Континентальные кайнозойские накопления и геоморфология. Фрунзе: Илим, 1971. 332 с.
 20. Чедия О.К. Юг Средней Азии в новейшую эпоху горообразования. Кн. 2. Новейшая тектоника и палеогеография. Фрунзе: Илим, 1972. 226 с.
 21. Шульц С.С. К вопросу о генезисе и морфологии речных террас // Тр. КИЧП. 1934. Т. 3. Вып. 2. С. 65–80.
 22. Шульц С.С. Опыт генетической классификации речных террас // Изв. ВГО. 1940. Т. 72. Вып. 6. С. 739–750.
 23. Шукин И.С. Общая геоморфология. Т. 1. М.: МГУ, 1960. 616 с.
 24. Экспериментальная геоморфология. Вып. 2. М.: МГУ, 1969. 180 с.

FORMATION OF NEOPLEISTOCENE EROSIONAL ACCUMULATIVE CYCLES OF MOUNTAIN RIVERS

S. A. Nesmeyanov^{a, #}

^a *Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

[#] *E-mail: voa49@mail.ru*

The concept about the structure of erosional and accumulative cycles in mountain-river terrace formation are getting gradually more complex as new data are being accumulated and original ideas appear. At first, four successive stages were distinguished in alluvium accumulation, i.e., the instrative, substrative, constrative, and perstrative stages. Later, it was realized that the boundary between the erosive and accumulative phases of the cycle lies within the substrative stage, whereas the boundary between the cycles of different age is found within the perstrative stage. The erosion phase is divided into subphases of deepening and lateral erosion. The deepening erosion subphase includes the end of the perstrative and the beginning of the instrative stages. The lateral erosion subphase, which controls the valley floor width, belongs to the substratum stage. A narrow instrative cutting deepens the substrative valley bottom. The bulk of the alluvium is formed at the constrative stage. The erosion cutting depth depends on the orogenic force, whereas the cutting width is controlled by the climate-dependent water capacity. Deepening erosion predominates upon cooling and mountain glaciation, and the substrate stage coincides with the maximal climate warming. The progressive orogenesis forms a rear terrace sequence (a staircase) in mountain valleys. The age of its steps stands for the time of deepening erosion end and conservation of this valley section. Valley glaciers crawl from step to step, with their frontal moraines being facially replaced by fluvio-glacial and alluvial deposits of the same age.

Keywords: terrace, erosional and accumulative cycle, erosional and accumulative phases, subphases of deepening and lateral erosion, instrative, substrative, constrative, perstrative stages of alluvium formation, rear terrace staircase

REFERENCES

1. Velikanov, M.A. *Strukturnye formy ruslovoi turbulentnosti* [Structural forms of channel turbulence]. *Izvestiya AN SSSR, ser. geofizich.*, 1951, no. 3. (in Russian)
2. Kostenko, N.P. *O printsipakh sostavleniya spetsial'noi geomorfologicheskoi karty* [On the principles of compiling a special geomorphological map]. *Byulleten' MOIP*, 1961, no. 26, pp. 20–34. (in Russian)
3. Kostenko, N.P. *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2nd edition, Moscow, MSU Publ., 1999, 383 p. (in Russian)
4. Makarova, N.V., Makarov, V.I., Akinin, B.E. *Osnovnye zakonomernosti stroeniya chetvertichnogo allyuviya i stadii formirovaniya terras gornyykh rek Srednei Azii* [Basic regularities of the Quaternary alluvium structure and the formation stages of mountain river terraces in Central Asia]. *Byulleten' KICH P*, 1979, no. 49, pp. 90–104. (in Russian)
5. Makarova, N.V., Makarov, V.I., Solov'eva, L.I. *O pererabotke drevnego rel'efa gornyykh stran chetvertichnym oledeneniem* [About the processing of the ancient relief in mountain areas by Quaternary glaciation]. *Geomorfologiya*, 1980, no. 1, pp. 48–54. (in Russian)
6. Makarova, N.V., Chistyakov, A.A., Akinin, B.E. *Zakonomernosti formirovaniya moshchnosti allyuviya gornyykh rek* [Regularities in the alluvium thickness formation in mountain rivers]. *Byulleten' KICH P*, 2008, no. 68, pp. 70–81. (in Russian)
7. Makarova, N.V., Makarov, V.I., Postolenko, G.A., Akinin, B.E. *Predstavitel'nost' allyuviya dlya stratigrafii i korrelyatsii chetvertichnykh otlozhenii* [Representativeness of alluvium for stratigraphy and correlation of Quaternary deposits]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2011, vol. 19, no. 4, pp. 1–23. (in Russian)
8. Makkaveev, N.I. *Stok i ruslovye protsessy* [Runoff and channel processes]. Moscow, MSU Publ., 1971, 115 p. (in Russian)
9. Mamedov, E.D. *O plyuvial'nykh paleoklimatakh pustyn' v pleistocene* [On pluvial paleoclimates of deserts in the Pleistocene]. *Problemy osvoeniya pustyn'*, 1985, no. 3, pp. 10–16. (in Russian)
10. Nesmeyanov, S.A. *K voprosu o stratigraficheskikh skhemakh chetvertichnykh otlozhenii Zapadnogo Tyan'-Shanya (v svyazi s sushhestvuyushchimi predstavleniyami o razvitiy erozionnykh tsiklov)* [On the question of stratigraphic schemes of Quaternary deposits of the Western Tien Shan (in connection with existing ideas about the development of erosion cycles)]. *Byull. KICH P*, 1965, no 30, pp. 136–144. (in Russian)
11. Nesmeyanov, S.A. *Korrelyatsiya kontinental'nykh tolshch* [Correlation of continental strata]. Moscow, Nedra Publ., 1977, 144 p. (in Russian)
12. Nesmeyanov, S.A. *Metodika izucheniya terrasovogo geneticheskogo kompleksa dlya analiza paleoekologii paleoliticheskikh stoyanok v gornyykh oblastyakh* [Methods of studying the terrace genetic complex for the analysis of paleoecology of Paleolithic sites in mountain areas]. *Metodicheskie problemy rekonstruktsii v arkheologii i paleoekologii* [Methodical problems of reconstruction in archeology and paleoclimatology]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1989, pp. 225–260. (in Russian)
13. Nesmeyanov, S.A. *Geomorfologicheskie aspekty paleoekologii gornogo paleolita (na primere Zapadnogo Kavkaza)* [Geomorphological aspects of Paleolithic paleoecology in mountain regions (by the example of the Western Caucasus)]. Moscow, Nauchnyi mir, 1999, 392 p. (in Russian)
14. Nesmeyanov, S.A. *Geneticheskie komplekсы kontinental'nykh otlozhenii* [Genetic complexes of continental deposits]. Moscow, Kniga i biznes Publ., 2012, 397 p. (in Russian)
15. Nesmeyanov, S.A. *Orotektonicheskii metod* [Orotectonic method]. Moscow, Mittel Press, 2017, 376 p. (in Russian)
16. Nesmeyanov, S.A., Barkhatov, I.I. *Noveishie i seismogeneriruyushchie struktury Zapadnogo Gissaro-Alaya* [The newest and seismogenerating structures of the Western Gissar-Alai]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 120 p. (in Russian)
17. Nesmeyanov, S.A., Voeikova, O.A., Muryi, A.A. *Metodika postroeniya srednemasshtabnykh kolichestvennykh paleorekonstruktsii rel'efa primorskogo orogena* [Methodology for constructing medium-scale quantitative paleoreconstructions of the Primorsky orogen relief]. *Geoekologiya*, 2016, no. 1, pp. 3–24. (in Russian)
18. Skvortsov, Yu.A. *Metod geomorfologicheskogo analiza i kartirovaniya* [Method of geomorphological analysis and mapping]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geogr. i geofiz.*, no. 4–5, 1941, pp. 501–522. (in Russian)
19. Chediya, O.K. *Yug Srednei Azii v noveishuyu epokhu go-roobrazovaniya. Kn. 1. Kontinental'nye kainozoiskie nakopleniya i geomorfologiya* [The South of Central Asia in the modern era of mountain formation. Book 1. Continental Cenozoic accumulations and geomorphology]. Frunze, Ilim Publ., 1971, 332 p. (in Russian)
20. Chediya, O.K. *Yug Srednei Azii v noveishuyu epokhu go-roobrazovaniya. Kn. 2. Noveishaya tektonika i paleogeografiya* [The South of Central Asia in the modern era of mountain formation. Book 2. Recent tectonics and paleogeography]. Frunze, Ilim Publ., 1972, 226 p. (in Russian)
21. Shul'ts, S.S. *K voprosu o genezise i morfologii rechnykh terras* [On the question of the genesis and morphology of river terraces]. *Tr. KICH P*, 1934, vol. 3, is. 2, pp. 65–80. (in Russian)
22. Shul'ts, S.S. *Opyt geneticheskoi klassifikatsii rechnykh terras* [Experience in genetic classification of river terraces]. *Izv. VGO*, 1940, vol. 72, is. 6, pp. 739–750. (in Russian)
23. Shchukin, I.S. *Obshchaya geomorfologiya*. [General geomorphology]. Vol. 1. Moscow, MSU Publ., 1960, 616 p. (in Russian)
24. *Eksperimental'naya geomorfologiya* [Experimental geomorphology]. Vol. 2. Moscow, MSU Publ., 1969, 180 p. (in Russian)