

Б. В. МАТВЕЕВ, А. В. ПАНИН, А. Ю. СИДОРЧУК

РАЗВИТИЕ АНТЕЦЕДЕНТНОЙ ДОЛИНЫ РЕКИ ЯНЫ
НА УЧАСТКЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КУЛАРСКОГО ХРЕБТА

Куларский хребт расположен в области сочленения активных тектонических структур Верхоянской зоны и рифтовой зоны Арктического бассейна. Начало сводового поднятия Куларского хребта относят к концу палеоцена — началу плейстоцена [1], оно развивалось в течение всего четвертичного периода. В настоящее время хребт представляет собой овальную структуру восточно-северо-восточного простирания с максимальными отметками 800—900 м в осевой части, с более крутым юго-восточным и более пологим северо-западным склоном.

Восточнее области максимальных высот Куларский хребт пересекается антецедентной долиной р. Яны. В зоне пересечения наибольшие высоты хребта составляют 500—600 м. Современный продольный профиль русла реки вогнутый, с перегибом в районе переката Пороги. Главная особенность планового рисунка русла р. Яны в пределах Куларского поднятия — наличие 11 меандрикоподобных изгибов с шагом от 5,4 до 15,2 км. Подобные изгибы, существенно превосходящие по размерам осложняющие их «нормальные» излучины и русловые разветвления, получили в литературе название «макронизлучины». Если шаг излучин, согласно данным натурных наблюдений, обычно не превышает 6—12-кратной ширины русла [2], то для макронизлучин р. Яны он составляет 12—28 ширины русла. Образование макронизлучин обычно связывают с последовавшим первичных изгибов речных долин, формирующихся при приспособлении реки к пеходному (предшествующему этапу интенсивного врезания) рельефу, с освоением рекой ослабленных зон повышенной трещиноватости горных пород или крупных разрывных нарушений, с огибанием активных положительных морфоструктур, а также наследованием древних меандров, формировавшихся при повышенной водности реки [3].

Современное развитие макронизлучин большинства рек сводится к деформациям русла на осложняющих общий изгиб излучинах, разветвлениях, прямолинейных участках и не представляет собой единого процесса. В отличие от описанной ситуации в морфологии макронизлучин р. Яны выявляются отчетливые признаки современного развития их как единого целого, подобно врезанным излучинам обычных размеров. Их морфологическое сходство заключается в закономерной асимметрии долины. Борт долины у выпуклого берега макронизлучины представляет собой лестницу

террас, сглаженную склоновыми процессами и полого понижающуюся к руслу (террасоувал). Кроме того, у выпуклых берегов расположены наиболее широкие сегменты поймы и низкой аккумулятивной террасы. На противоположном борту долины, у вогнутого берега наблюдается крутой подмываемый уступ коренного склона или цоколя высокой террасы. Подобная асимметрия указывает на поперечное по отношению к оси долины смещение русла на макроизлучинах, их искривление, развивающееся в геологическом масштабе времени, т. е. на деформации, характерные для излучин в целом. Продольное смещение русла на макроизлучинах фиксируется также по асимметрии продольных профилей, проходящих через их шпory.

По фрагментам террас в шпорах макроизлучин можно восстановить положение русла р. Яны в разные периоды времени и оценить характер и скорость трансформации макроизлучин. Для этого необходимо выделить террасы и определить время их формирования. Выделение фрагментов террас было проведено в ходе геоморфологического картирования территории на основе полевых маршрутов, анализа данных геологической съемки, дешифрирования аэрофотоснимков. Обнаружена фрагментарность террас, отсутствие цикловых уровней, большая разновысотность уровней. Весь этот комплекс признаков характерен для террас зоны врезания. Плохая сохранность аллювия на террасах, значительная мощность (до 40 м) и мерзлое состояние перекрывающих галечный русловой аллювий тонкозернистых отложений существенно уменьшают возможность применения традиционных методов геологических корреляций фрагментов террас. Поэтому корреляция фрагментов террас была проведена на базе математической модели врезания реки в сводовое поднятие. Решена обратная геоморфологическая задача — восстановлен рельеф прошлого на основании модели процесса и современного рельефа территории.

Процесс трансформации отметок дна реки z во времени t по длине x описывается уравнением деформации

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = V_T(x, t), \quad (1)$$

где q_s — удельный расход наносов, V_T — скорость вертикальных тектонических деформаций территории.

Анализ данных измерений изменения стока наносов по длине быстро врезанной реки [4] показывает, что расход наносов можно описать формулой

$$q_s = k_1 q^2 i (x - x_0), \quad (2)$$

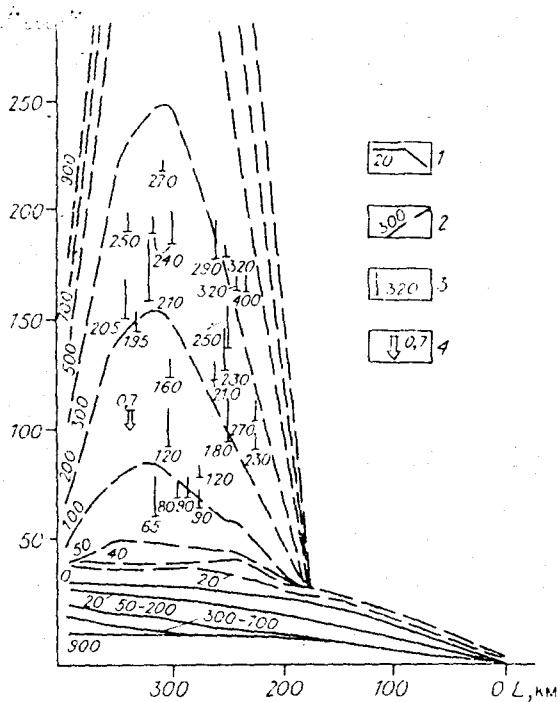
где q — удельный расход воды, $i = -(dz/dx)$ — уклон, x_0 — координата начала зоны врезания. Тогда уравнение (1) приводится к виду

$$\frac{\partial z}{\partial t} = k_1 \frac{\partial}{\partial x} \left[q^2 (x - x_0) \frac{\partial z}{\partial x} \right] + V_T(x, t). \quad (3)$$

Это — аналог нестационарного уравнения теплопроводности, методы численного решения которого достаточно хорошо изучены [5]. Уравнение (3) решалось методом прогонки для периода времени 4,5 млн лет. За начальные условия принят современный продольный профиль р. Яны по отметкам дна реки, за граничные — отметки $z(0, t) = 0$ и $z(l, t) = 109$ м в устье реки и в 600 км от устья соответственно. С целью уменьшения влияния граничных условий для расчета был взят отрезок реки в 200—400 км от устья. Скорость тектонических движений оценивалась на основе формы свода Куларского хребта H_x : $V_T = k_2 H_x$. Оптимизация коэффициентов k_1 и k_2 проведена с учетом соответствия отметок рассчитанного и фактического продольного профиля реки в конце периода расчета с точностью $\pm 1,0$ м и соответствия рассчитанной отметки фактической высоте (150 м) фрагмента террасы в 250 км от устья.

В результате решения уравнения (3) получены данные о положении продольного профиля р. Яны для разных моментов времени на протяже-

Рис. 1. Различные долинные комплексы р. Яны в условиях сводового поднятия Куларского хребта.



1 — продольный профиль русла в различные моменты времени, тыс. л. н.; 2 — линии изохронных деформаций дна долины и их возраст, тыс. л.; 3 — высотные интервалы террасовых поверхностей современного долинного комплекса и возраст террас, тыс. л.; 4 — компенсирующее время русла и его скорость, мм/год. L — расстояние от устья.

или четвертичного периода и датированные линии тектонических деформаций этих продольных профилей, которые служат изохронами для террасового комплекса реки в зоне Куларского поднятия (рис. 1). По этим данным были датированы все фрагменты террас врезания р. Яны, которые образовались в широком временном диапазоне — от 400 до 60 тыс. лет назад, но группируются в две формации — послесамаровские и казанцевские террасы. Для этих двух этапов террасообразования восстановлено плановое положение русла р. Яны (рис. 2).

Реконструкции положения русла показывают, что макроизлучины сформировались еще на первых этапах поднятия свода Куларского хребта. Их трансформация как единых морфодинамических образований происходила непрерывно на протяжении всего четвертичного периода. Средние скорости смещения макроизлучины составляли 1,5—5,0 см в год.

Единство динамики макроизлучины сочетается с единством их морфометрических характеристик. Для макроизлучины осреднены значения относительной глубины потока при руслонаполняющем расходе воды $H_{отн}$ и степени асимметрии русла A . Здесь $H_{отн} = H/V$, где H — максимальная глубина русла при подъеме уровня воды до пойменных бровок, V — ширина русла между пойменными бровками; $A = C/V$, где C — расстояние от линии наибольших глубин до вогнутого берега макроизлучины. Анализ изменения средних для всех 11 макроизлучин величин этих показателей по безразмерной длине макроизлучины (относительно их вершин) свидетельствует о существовании области максимальных $H_{отн}$ и минимальных A значений (рис. 3). Эта область, несколько смещенная в сторону нижнего крыла макроизлучины, представляет собой плес у подмываемого вогнутого берега в «активной вершине» макроизлучины. Отчетливо проявляется также тенденция смещения линии наибольших глубин в сторону выпуклого берега макроизлучины в ее верхнем крыле и в сторону вогнутого берега — в нижнем. Это подтверждает морфологическое единство макроизлучины, несмотря на кажущуюся неупорядоченность руслового рельефа. Выявленная тенденция может быть сопоставлена с явлением смещения динамической оси потока относительно его геометрической оси [2], которое, как известно, рассматривается в качестве причины продольного смещения излучины.

Морфология макроизлучины р. Яны обнаруживает тесную взаимосвязь с особенностями формирования продольного профиля. Выше оси Куларского поднятия макроизлучины обладают весьма сложным внутренним строением, на их фоне развиваются преимущественно разветвленное и разветвленно-павильное русло. Ниже оси поднятия макроизлучины отличаются простым строением и размерами, близкими к размерам врезанных излучин. Здесь преобладают относительно прямолинейные отрезки, раз-

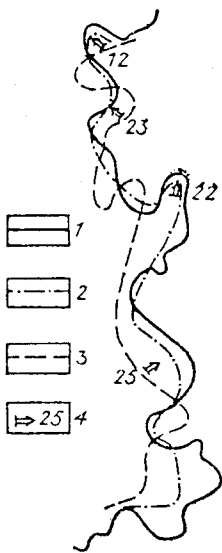


Рис. 2. Положение русла р. Ины в различные эпохи плейстоцена.

1 — современное; 2 — 30—120 тыс. л. н.; 3 — 210—240 тыс. л. н.; 4 — направление и скорость горизонтального смещения русла, мм/год.

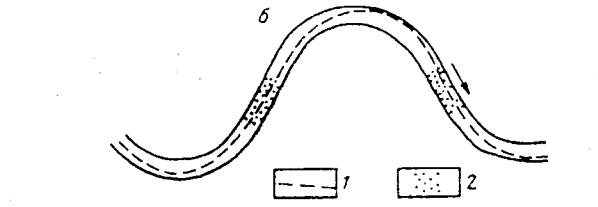
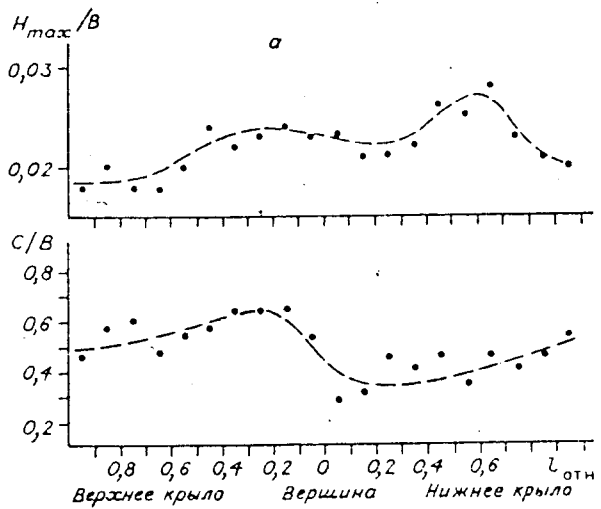


Рис. 3. Изменение морфометрических характеристик по длине русла (а) и принципиальная схема строения русла в пределах макроизлучины (б).

H_{max}/B — относительная глубина; C/B — показатель асимметрии русла (H_{max} — максимальная глубина, B — ширина русла при уровне затопления поймы, C — расстояние от линии наибольших глубин до вогнутого берега макроизлучины); $L_{отн} = l/L$, где l — расстояние от вершины, L — общая длина крыла макроизлучины; 1 — линия наибольших глубин; 2 — перекаты.

деленные одиночными излучинами (в вершинах макроизлучин) и разветвлениями. Различия в типе русла, по-видимому, обусловлены менее интенсивным развитием горизонтальных русловых деформаций в условиях дефицита руслообразующих наносов на участке наиболее интенсивного врезания ниже оси поднятия. О дефиците наносов свидетельствует также изменение морфологии перекатов, которые в отличие от перекатов верхнего участка, как правило, не имеют обширных надводных частей — побочней, кос. Дефицит наносов проявляется также в частых выходах скальных коренных пород в русле и, наконец, в специфическом явлении, не получившем пока должного освещения в литературе — в развитии врезания извилины динамической оси потока. Обычная для равнинных рек извилистость линии наибольших глубин в условиях интенсивного врезания формируется среди расположенных в шахматном порядке низких преимущественно подводных побочней, сложенных коренными породами, перекрытыми маломощным слоем аллювия.

Сходными с излучинами чертами обладают перекаты и перекатные участки на перегибах между соседними макроизлучинами. В нескольких случаях здесь образовались островные разветвления: простые и сложные одиночные, простые сопряженные.

Удлинение русла в пределах разветвляющихся макроизлучин приводит к усложнению их внутреннего строения, аналогичному процессу возникновения дополнительных плесов на петлеобразных излучинах. Суть процесса заключается в восстановлении характерного для данной реки шага систем плес — перекат [6]. Подобные явления наблюдаются на четырех макроизлучинных нижнего участка. Разделение плесовой ложбины у их вогнутых берегов и формирование извилины динамической оси привели к своеобразной двувёршинности этих макроизлучин, возникновению судишной формы. Памечающаяся усложнение структуры русла на макро-

верхних макроизлучий, развивающихся в условиях гораздо более интенсивных горизонтальных русловых деформаций.

Механизм меандроподобного развития макроизлучий не сводится к упрощенной схеме спирального циркуляционного течения, обычно рассматриваемой для излучий. Формирование единого циркуляционного течения невозможно из-за сложного строения большинства макроизлучий. В качестве вероятной причины закономерного смещения макроизлучий можно назвать развитие их «активных вершин». Если изгиб русла в целом не соответствует современной водности реки, то параметры его вершины близки к размерам обычных излучий. Здесь могут происходить процессы деформации врезанных излучий, расчлененных в вершинах макроизлучий. Развитие «активной вершины» объясняет поперечное удлинение макроизлучий и нарастание в этом направлении лестницы террас в их шпорах. Этот процесс наиболее вероятен для макроизлучий ниже осей Куларского хребта, близких по размерам к обычным излучиям. Кроме того, во врезанных галечно-валунных руслах может проявляться морфологический эффект экстремальных расходов воды с периодом прохождения в десятки лет, срывающих аллювий по всей площади русла, в то время как ежегодные паводки способны производить лишь частичную моделировку русла [7]. В широкопойменных долинах роль экстремальных событий относительно мала вследствие рассредоточения живой силы потока при затопленной пойме.

Вторая причина меандроподобного развития — влияние уже существующего общего изгиба русла на динамику осложняющих форм. Скорость смещения серий излучий и узлов разветвления по длине макроизлучий составляет 0,5—1,5 м/год, что на два порядка больше, чем скорость смещения макроизлучий. По мере развития макроизлучий это смещение оказывает на ее морфологию то же воздействие, что и перемещение побочней перекатов в пределах обычных свободных излучий. Стержень потока перемещается за счет движения формы то к правому, то к левому берегу макроизлучий, и зона максимального размыта также попеременно располагается у разных бортов долины. При этом актуальная скорость размыта коренного берега достигает 0,2 м/год. Об этом свидетельствует морфология коренного берега в районе смещения излучий на перекате Пороги. За 1400 лет коренные берега отступили на 250 м от борта долины, прикрытого пойменным массивом. При попеременном размыте берегов в среднем за длительный промежуток времени возгнутый берег макроизлучий будет размываться несколько быстрее, чем вышуклый за счет влияния на местное поле скоростей (вокруг более мелких русловых форм) слабых, но односторонних циркуляционных течений, определяемых макроизгибом русла. В этом отношении форма макроизлучий оказывает на размыв берегов то же воздействие, что и сила Корниолеса при создании асимметрии речных долин. Подобное слабое воздействие может иметь морфологический эффект только за длительные отрезки геологического времени и в условиях врезания русла, «консервирующего» кумулятивный эффект воздействия слабых сил. На р. Яне выше Куларского хребта в широкопойменной долине макроизлучий не сформировались из-за гораздо более высоких темпов горизонтальных деформаций при смещении русловых форм, соответствующих по размерам современной водности реки.

Макроизлучий характерны для многих рек умеренного пояса. Естественны попытки использования их характеристик для палеогеологических построений [8]. Следует учитывать возможность саморазвития макроизлучий на основе первичных макроизгибов врезанного русла, имеющих изначально или приобретающих достаточную кривизну, чтобы оказывать обратное влияние на поток и обеспечивать кумулятивный эффект. Можно предположить, что в эпохи повышенной водности макроизлучий, включая самые крупные, функционировали как обычные излучий, хотя для непосредственного образования подобных форм водность реки была недостаточной.

Наиболее неясным остается происхождение самих первичных макроизгибов. Их возможным аналогом могут служить пологие изгибы разветвленного русла средней Яны, связанные с очертаниями ведущего коренного берега. Последний имеет в плане фестончатую форму вследствие неоднородного строения прилегающих междуречий, проявившегося в процессе длительного правостороннего смещения русла реки [9]. Существуют также признаки структурного происхождения первичных макроизгибов. В пределах Куларско-Полобусненской области по рисунку гидросети низких порядков очерчиваются куполовидные неотектонические структуры диаметром 4—26 км. Наиболее часты размеры куполов 6—15 км. В этих пределах сосредоточено семь из одиннадцати макроизлучий русла р. Яны. Крылья наиболее крупных макроизлучий в области оси свода Куларского хребта приурочены к геологически подтвержденным разломам. Анализ спорово-пыльцевых спектров и поиски на этой основе бассейнов-аналогов для определения водности Яны в различные геологические эпохи [10] позволяют предположить, что в начале четвертичного периода водность реки была в 3,5 раза больше современной (среднегодовой расход воды 3500—3700 м³/с) и с тех пор постепенно уменьшалась, испытывая волнообразные изменения при чередовании эпох повышенной и пониженной влажности. Шаг L современных излучий рек бассейна р. Яны связан со среднегодовым расходом воды Q зависимостью $Q = 70,4L^2$. Поскольку средний размер макроизлучий 8,3 км, среднегодовой расход воды, формировавшей их реки, составлял 4800 м³/с. Таким образом и структурно-тектонический, и гидрологический факторы могли вызвать образование макроизлучий. Возможно, они являются гетерогенным образованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранова Ю. П., Вискэ С. Ф. и др. Кайнозой Северо-Востока СССР // Тр. ШИГ СО АН СССР.— 1968.— Вып. 38.
2. Маккаев П. П. Сток и русловые процессы.— М.: Изд-во МГУ, 1971.
3. Матвеев В. В. Процесс меандрирования и развитие речных долин // Геоморфология.— 1988.— № 1.
4. Панин А. В., Сидорчук А. Ю., Чалов Р. С. Катастрофические скорости формирования флювиального рельефа // Геоморфология.— 1990.— № 2.
5. Самарский А. А. Теория разностных схем. 2-е изд.— М.: Наука, 1983.
6. Keller E. A. Development of alluvial stream channels: a five-stage model // Bul. Geol. Soc. Amer.— 1972.— Vol. 83, N 5.
7. Tinkler K. J. Active valley meanders in south-central Texas and their wider implication // Bul. Geol. Soc. Amer.— 1971.— Vol. 82, N 7.
8. Dury G. H. Theoretical implications of underfit streams.— U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1965.
9. Панин А. В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на морфологию русел крупных рек Восточной Сибири (на примере р. Яны) // Геоморфология.— 1990.— № 1.
10. Матвеев В. В., Панин А. В. Происхождение и динамика макроизлучий (на примере р. Яны) // Экзогенные процессы и окружающая среда.— Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1988.