



УДК 551.4.03(571.151)

## ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ ДОЛИНЫ Р. ЧУЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) НА ОСНОВЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

С. А. Котлер<sup>1</sup>, И. Д. Зольников<sup>1–3</sup><sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН; <sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет;<sup>3</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН; Новосибирск, Россия

Предложены морфометрические показатели извилистости русел (суммарная длина русла и суммарный угол отклонения русла в скользящем окне) и ширины долины по площадкам террас для автоматизированного районирования долины р. Чуя. Первичный фактический материал получен путем детального цифрования топографических карт с учетом цифровой модели рельефа SRTM и космических снимков, в том числе высокого разрешения посредством сервиса Google Планета Земля. Для построения показателей использовалась группа инструментов Density программного пакета ArcGIS10.2.2. Визуальный и статистический анализы морфометрических показателей позволили выявить разные типы долины и провести ее геоморфологическое районирование. По морфометрическим показателям, определяющим ширину долины и извилистость реки, выделены 13 морфотипов ее строения, которые являются индивидуальными для долины р. Чуя. Предложенная методика может быть использована для выделения геоморфологических типов долин других горных рек на основе их количественных характеристик и представлений об историко-генетических обстановках формирования.

**Ключевые слова:** морфометрия, речные долины, ГИС, геоморфологические типы.

## DISTINGUISHING THE RIVER CHUYA VALLEY GEOMORPHOLOGICAL TYPES (GORNYY ALTAI) BASED ON MORPHOMETRIC INDICES

S. A. Kotler<sup>1</sup>, I. D. Zolnikov<sup>1–3</sup><sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the SB RAS; <sup>2</sup>Novosibirsk National Research State University; <sup>3</sup>Institute of Archaeology and Ethnography of SB RAS; Novosibirsk, Russia

Morphometric indices of the river-bed sinuosity (overall length of river-bed and sum angle of the river-bed deviation in sliding window) and width of the valley along terraces for the automated zoning of the Chuya River valley have been proposed. The primary factual material is obtained by detailed digitization of topographic maps, taking into account a digital model of the SRTM relief and space images, including high-resolution satellite images through the Google Earth. For the construction of indices, a Density toolset of the software package ArcGIS10.2.2 was used. Visual and statistical analyses of morphometric indices have made it possible to identify various types of valley and to carry out its geomorphologic zoning. According to morphometric indices, which determine the valley width and the river sinuosity, 13 morphotypes of the valley structure are identified. They are individual for the Chuya River valley. The proposed methodology can be used to distinguish geomorphological types of other mountain rivers valleys on the basis of their quantitative characteristics and concepts on historical and genetical settings of formation.

**Keywords:** morphometry, river valleys, GIS, geomorphological types.

DOI 10.20403/2078-0575-2018-4-22-29

Геолого-геоморфологическое строение долин рек Чуя и Катунь на Горном Алтае изучалось многими исследователями на протяжении XX – начала XXI вв. Согласно схеме, предложенной Н. А. Ефимцевым [4], в долинах этих рек выделяют серии террас: высокие (до 300 м), цоколь которых выполнен ининской толщей; средние (до 60–70 м), цоколь которых выполнен сальджарской толщей; низкие (до 5–8 м), которые сложены аллювиальными отложениями. Если аллювиальный генезис низких террас этих рек никогда и никем не подвергался сомнению, то по поводу генезиса цокольного выполнения высоких и средних террас разными авторами высказывались альтернативные мнения. Не углубляясь в историю дискуссий, которая изложена в [6], следует отметить наиболее популярные концепции: аллювиальную [7], камово-гляциальную [2, 12] и гляциально-суперпаводковую [14, 18].

Исследования авторов показали, что цокольные толщи средних и высоких террас Чуйской долины сложены преимущественно пескодресвяниками, щебнегалечниками и валунноглыбовниками с характерными текстурно-структурными особенностями, которые достаточно определенно свидетельствуют об их гляциально-суперпаводковом генезисе [16]. Аккумулятивные отложения этих террас, как правило, не превышают по толщине нескольких метров и сложены аллювием, который представлен в основном косослоистыми гравийно-галечниками и гравийниками с редкими маломощными прослоями песков и алевропесков. Радиоуглеродное и OSL-датирование аллювиальных и субаэральных отложений, перекрывающих в долине р. Катунь сальджарскую толщу как выше, так и ниже устья р. Чуя [11], позволило оценить возраст последних гляциальных суперпаводков в магистральных долинах Горного Алтая не моложе 80–90 тыс. лет.

На Предалтайской равнине ининская толща сопоставляется с отложениями нижнего яруса V террасы р. Обь, а сальджарская – с отложениями нижнего яруса IV террасы р. Обь [5]. Верхние ярусы этих террас сложены субэаральными (эоловыми и делювиальными) образованиями. Тыловые швы, установленные по данным бурения в ходе государственного геологического картирования [3], имеют близкие гипсометрические отметки и фиксируются на космических снимках Landsat по площади распространения сосновых боров на высоту до 60–80 м и более над урезом воды; ширина этой площади достигает 70 км в Бийско-Барнаульской излучине р. Обь. Общий объем Бийско-Барнаульского участка Обской долины от выхода магистральной реки из гор до сужения у Камня-на-Оби, посчитанный по цифровой модели рельефа SRTM, по высоте от уровня реки до отметок тыловых швов IV и V террас составляет около 1000 км<sup>3</sup>. Такой же суммарный объем Чуйской и Курайской котловин, вычисленный по абразионно-береговым уступам, оставшимся от ледниково-подпрудных палеозер после их катастрофического спуска. Более поздние (моложе 90–80 тыс. лет) подпруживания Чуйской долины на различных ее участках имели на несколько порядков меньшие масштабы и не приводили к суперпаводкам, сколько-нибудь сравнимым с теми, которые сформировали ининскую и сальджарскую толщи Горного Алтая, а также отложения нижних ярусов и V террасы р. Обь на Предалтайской равнине.

Известно, что формирование геоморфологического типа долины горной реки, а также характер ее выполнения осадками зависят от совместного влия-

ния экзогенного (палеоклиматического) и эндогенного (неотектонического) факторов [8]. Для долины р. Чуя значение этих факторов разными авторами оценивалось не одинаково [1, 7, 10, 13, 15]. Эти оценки были в основном качественными, в лучшем случае полуколичественными, так как базировались преимущественно на анализе топографических карт и аэроснимков. Использование цифровых моделей на основе SRTM, а также геокодированных цифровых космоснимков среднего и детального пространственного разрешения в геоинформационных системах свободного удаленного доступа (ГИС под Интернет) обеспечивает переход к количественному морфометрическому анализу и автоматизированной классификации участков речной долины по типам их геолого-геоморфологического строения. Таким образом, основной задачей данной работы является автоматизированная типизация долины р. Чуя на основе количественной оценки ее морфологических характеристик. Накопленный фактический материал по детальному картографированию разрезов четвертичных отложений [6, 11, 16] позволил содержательно интерпретировать генетическую обусловленность полученных морфометрических закономерностей.

### Методика исследований

Для выделения геолого-геоморфологических типов долины р. Чуя (рис. 1, а) и их количественной морфометрической характеристики нами использовались топографические карты крупного масштаба, космоснимки высокого разрешения (2,4 м) посредством сервиса Google Планета Земля, а также

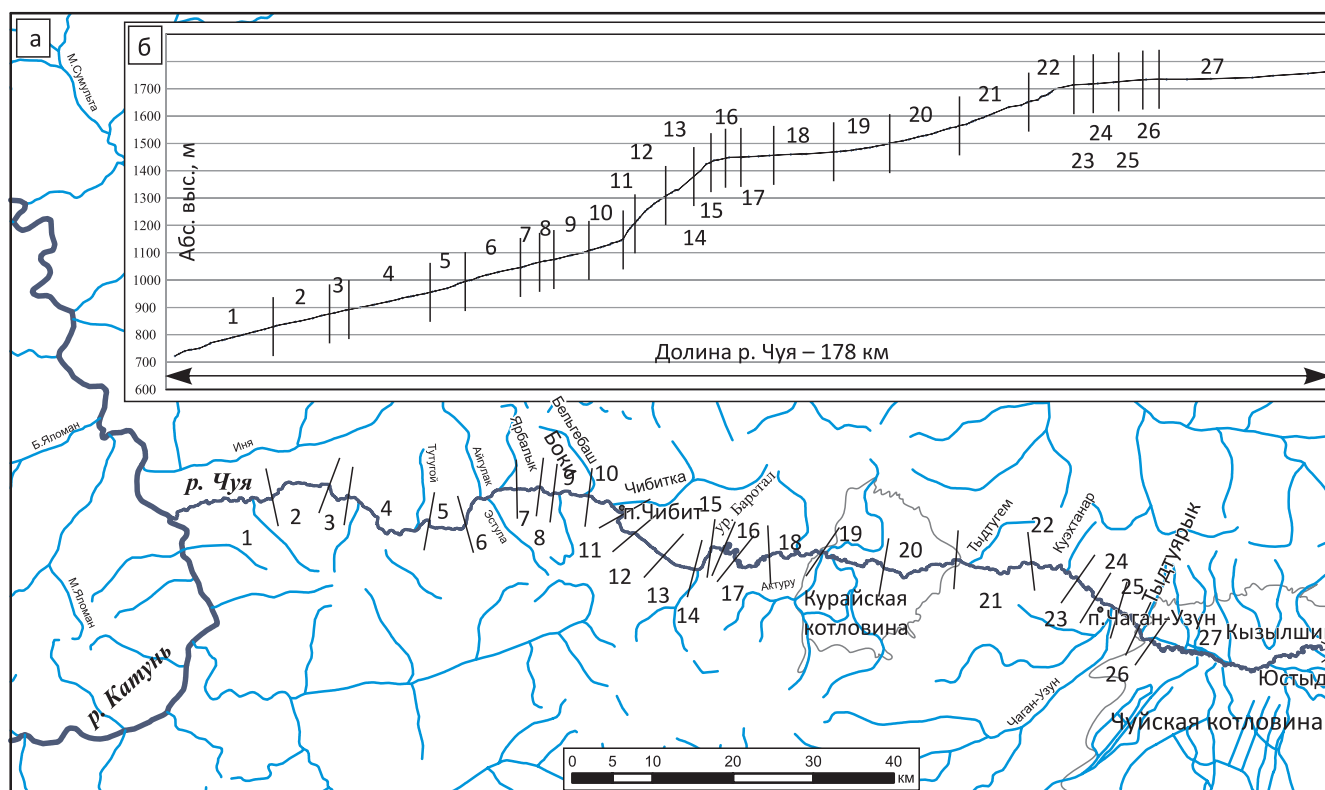


Рис. 1. Русло долины, разделенное на участки (а) и продольный профиль р. Чуя (б)

цифровая модель рельефа SRTM 90m DEM version 4 (The Shuttle Radar Topography Mission) свободного доступа (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Пространственное разрешение данных SRTM – 3 угловых секунды для территории России, абсолютная ошибка для Евразии по высоте составляет 6,2 м, а относительная ошибка по высоте – 8,7 м. Нами фрагмент цифровой модели рельефа (ЦМР) был приведен в универсальную поперечную проекцию Меркатора (UTM) и к пространственному разрешению 60×60 м. Для морфометрической характеристики долины р. Чуя, на основе анализа упомянутых пространственных данных была разработана специальная методика, количественно оценивающая извилистость русла и ширину долины (до тыловых швов средних террас). Эти показатели были выбраны среди других морфометрических характеристик как наиболее контрастные и значимые. Например, продольный профиль вдоль русла (см. рис. 1, б), построенный автоматически по ЦМР, имеет слишком большие погрешности и ошибки, а профиль, построенный по пересечению русла реки с изолиниями (по топокартам крупного масштаба), предоставляет важную дополнительную информацию, но менее информативен.

Методика может быть охарактеризована в рамках следующей технологической последовательности.

На *первом* этапе по детальным космоснимкам и крупномасштабным топокартам оцифровываются: 1) все русла реки от истока до устья, включая рукава и протоки (узлы внутри векторных линий ставились через 20 м) в виде векторных линий; 2) контуры средних террас в виде площадных векторных объектов.

На *втором* этапе вручную проводится осевая линия долины с учетом всех оцифрованных русел. Она строится вдоль линии русла без учета его извилистости. На участках, где оно меандрирующее и/или много рукавное, осевая линия проходит по середине долины. Осевая линия не имеет генетического значения, является лишь вспомогательным инструментом, необходимым для последующих вычислений. Узлы этой линии отстоят друг от друга на 20 м. Дальнейшая обработка данных проводится при помощи инструментов ArcGIS10.2.2 в скользящем окне радиусом 1,5 км, последовательно устанавливаемом на каждом узле осевой линии. Радиус круга, внутри которого происходит подсчет функции, так же как и расстояние между узлами осевой линии, подбирались эмпирически, аналогично определению оптимального шага гистограмм.

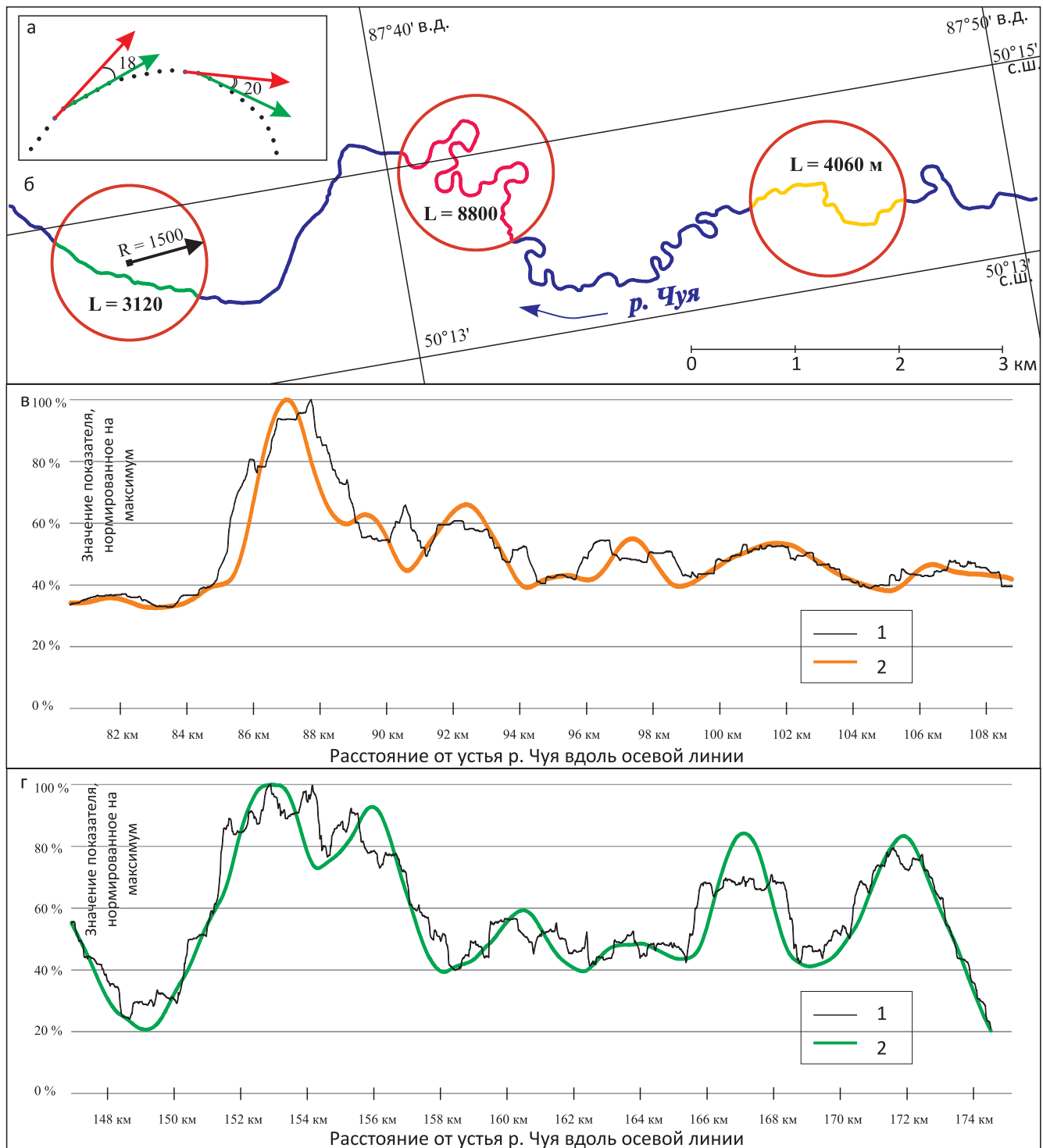
На *третьем* этапе вдоль осевой линии долины в каждом из узлов через 20 м в скользящем окне радиусом 1,5 км при помощи инструментов Spatial Analyst «плотность точек» вычисляются три показателя (средняя ширина долины, суммарный угол отклонения русла и суммарная длина русла). Для измерения ширины долины сначала высчитывалась суммарная площадь средних террас, а затем – про-

центное содержание этой площади от всей площади скользящего окна. Суммарный угол отклонения получали следующим образом. В каждом узле линий вычислялся угол, характеризующий изменение направления следующего отрезка по отношению к предыдущему (рис. 2, а). Затем для каждого узла осевой линии суммировались углы узлов линий русла, попавших внутрь скользящего окна. Полученная сумма углов присваивалась узлу осевой линии. Суммарная длина русла вычислялась суммированием отрезков оцифрованных линий русла внутри скользящего окна (см. рис. 2, б). Извилистость русла оценивалась по двум показателям – суммарному углу отклонения русла и суммарной длине русла. Очевидно, что их значение внутри скользящего окна будет больше у много рукавной и меандрирующей реки, чем у слабоизвилистой или прямолинейной.

Вычисление этих показателей проводилось инструментами «плотность точек» (Point Density) и «плотность ядер» (Kernel Density) группы инструментов «плотность» (Density) программного пакета ArcGIS10.2.2. Как видно на рис. 2, в, г, графики показателей, вычисленных методом плотности ядер, являются сглаженными и генерализованными, однако при этом пропадают детали. Графики показателей, вычисленных методом «плотность точек», обладают большей детальностью, но нечетко отражают главные закономерности. При выделении границ между разными типами границ использовались результаты обоих графиков.

Здесь же охарактеризуем методический прием построения показателя ширины долины по площадкам средних террас. Векторные полигоны площадок средних террас конвертировались в растр с размером ячейки растра 5×5 м (для соответствия м-бу 1:50 000). После этого ячейки растра конвертировались в векторные точки, по которым в скользящем окне инструментами «плотность точек» вычислялся показатель.

На *четвертом* этапе проводится анализ морфометрических показателей, вычисленных для каждого узла осевой линии долины. Всего проанализированы морфометрические показатели для 8789 узлов для осевой линии длиной 176 км. При этом суммарная длина русла составляет 234 342 м (от слияния рек Кызылшин и Юстыд до впадения р. Чуя в р. Катунь). Узлы группировались в разные классы на основе визуального сравнения графиков вдоль оси долины и статистической обработки пространственных данных. Следует подчеркнуть, что суммарный угол отклонения русла и суммарная его длина дополняют друг друга. В качестве основного использовался показатель суммарного угла отклонения русла. Морфометрический показатель ширины долины нормирован на 100 % заполнения скользящего окна радиусом 1,5 км. Морфометрические показатели извилистости русла (суммарный угол отклонения и суммарная длина русел) нормированы на максимумы (максимальные значения при-



**Рис. 2.** Морфометрические показатели на примере разных участков долины: а – суммарный угол отклонения русла в скользящем окне; б – суммарная длина русла в скользящем окне; в – графики значений показателя суммарной длины русла в скользящем окне по методикам: 1 – «плотность точек», 2 – «плотность ядер»; г – графики значений показателя суммарных углов отклонения русла в скользящем окне по методикам: 1 – «плотность точек», 2 – «плотность ядер»

няты за 100 %). В ArcGIS10.2.2 использовались процедуры классификации: квантили, геометрические интервалы, естественные границы, стандартное отклонение. Анализ морфометрических показателей позволил провести типизацию долины р. Чуя с выделением вдоль осевой линии участков, различающихся по геоморфологическому строению. Главным критерием выделения типов служили контрастные

перепады значений используемых морфометрических показателей. Полученные результаты были проинтерпретированы в историко-геологическом аспекте.

### Полученные результаты и их обсуждение

Общеизвестно, что в горных реках на расширенных участках долин русло меандрирующее или

многорукавное, а поймы и террасовые комплексы хорошо распространены, в то время как на суженных участках террасы отсутствуют или слабо развиты, а русло субпрямолинейное [17]. Очевидно, что эти представления являются обобщенными, поскольку в конкретных региональных и местных условиях формируются специфические геолого-геоморфологические типы долин.

В результате морфометрического анализа выделено пять типов долины р. Чюя, которые различаются по ширине ( $\Sigma S$  – процент заполнения площадками средних террас скользящего окна радиусом 1,5 км): 1 – узкая ( $\Sigma S = 4,3–25,1 \%$ ), 2 – относительно узкая ( $25,1–44,6 \%$ ), 3 – средняя ( $44,6–61,4 \%$ ), 4 – относительно широкая ( $61,4–84,6 \%$ ), 5 – широкая ( $84,6–100 \%$ ); шесть – по морфологии русла ( $\Sigma \angle$  – суммарный угол отклонения русла в скользящем окне радиусом 1,5 км): 1 – однорукавное спрямленное ( $\Sigma \angle = 6,5–11,6 \%$ ), 2 – однорукавное слабоизвилистое ( $11,6–25,6 \%$ ), 3 – однорукавное среднеизвилистое или многорукавное слабоизвилистое ( $25,6–37,2 \%$ ), 4 – однорукавное сильноизвилистое со старицами ( $37,2–59,7 \%$ ), 5 – многорукавное сильноизвилистое с главным руслом и второстепенными протоками или однорукавное сильноизвилистое со старицами ( $59,7–93,0 \%$ ), 6 – многорукавное сильноизвилистое с равнозначными рукавами ( $93,0–100 \%$ ).

При комбинации всех указанных типов получается 30 сочетаний. Из них в пределах долины р. Чюя зафиксировано 13 морфотипов, а 17 – отсутствует. На рис. 1 выделены границы участков, различающихся по морфотипу и пронумерованных от устья р. Чюя к ее истоку. Охарактеризуем эти типы

(рис. 3) (в индексе морфотипа на первом месте – номер типа по ширине долины, а на втором – по извилистости русла).

1.1. Узкая долина, однорукавное спрямленное русло. На рис. 1 этому морфотипу соответствуют участки № 12 и 14, известные под названием «новая долина р. Чюя». В ходе последнего оледенения первоначальная долина р. Чюя от пос. Чибит до урочища Баротал была занята ледником, в результате чего река, вытесненная из «старой долины», проложила новое русло по системе разломов [6, 11].

2.2. Относительно узкая долина, однорукавное слабоизвилистое русло. На рис. 1 это участки № 2, 4, 6, расположенные вдоль р. Чюя от ее устья до района р. Ярбалык (правый приток). Долина здесь следует вдоль границ неотектонических блоков, представляя собой ломаную линию из десятка сочлененных под разными углами крупных отрезков. Участки № 11 и 13 являются небольшими расширениями в каньонообразной «новой Чюе». Этот геоморфологический тип соответствует сужениям долины между блоками, испытавшими относительное поднятие.

2.3. Относительно узкая долина, однорукавное среднеизвилистое русло. На рис. 1 это участок № 8, расположенный около р. Боки, и участок № 18 в западной части Курайской котловины. Данный тип характерен для блоков, не испытывавших значительных неотектонических движений.

2.4. Относительно узкая долина, извилистое русло с второстепенными протоками. На рис. 1 это участок № 24 в районе пос. Чаган-Узун, испытавший подпруживание за счет Сукорского оползня-обвала.

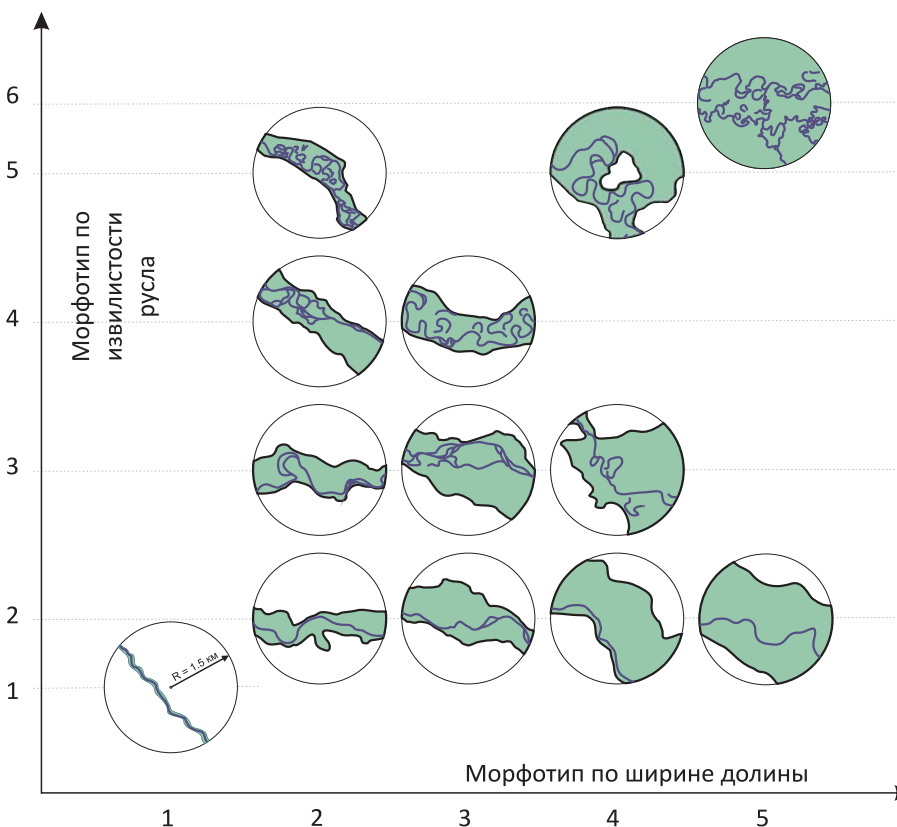


Рис. 3. Типы долины в скользящем окне (по ширине долины и извилистости русла)



2.5. Относительно узкая долина, однорукавное сильноизвилистое русло со старицами или дополнительными второстепенными протоками. На рис. 1 это участок № 23. Долина р. Чуя здесь была подпружена куэктанарско-сукорской ледниковой плотиной и вместе с тем ограничена с боков крупными неотектоническими блоками. Участки № 23–25, ограниченные Чаган-Узунским блоком, были подпружены Сукорским оползнем-обвалом.

3.2. Долина средней ширины, слабоизвилистое русло. На рис. 1 это участки № 1, 3, 5, 7, расположенные вдоль р. Чуя от ее устья до р. Боки. Этот геоморфологический тип характеризуется слабой неотектонической активностью по сравнению с другими участками долины.

3.3. Долина средней ширины, многорукавное слабоизвилистое главное русло с второстепенными протоками. На рис. 1 это участок № 9. Долина р. Чуя от ее правого притока р. Бельгебаш была подпружена обвальной плотиной.

3.4. Долина средней ширины, однорукавное сильноизвилистое русло. На рис. 1 это участки № 15, 17. «Старая долина» Чуи здесь близ ур. Баротал около 15 тыс. лет назад [11] подпруживалась Чибитским ледником, в результате чего возникало ледниково-подпрудное проточное озеро, воды из которого проходили через «новую долину» р. Чуя и сбрасывались в «старую долину» в районе устья р. Бельгебаш.

4.2. Относительно широкая долина, однорукавное среднеизвилистое русло. На рис. 1 это участки № 10 и 21, расположенные в районе р. Чибитка и р. Тыдтугем соответственно. Геоморфологический тип соответствует ледниковым трогам небольшой ширины.

4.3. Относительно широкая долина с среднеизвилистым руслом. Здесь на западном окончании Чуйской котловины река «пропиливала» перемычку – коренные выходы девонских пород. На рис. 1 это участок № 26.

4.5. Относительно широкая долина, сильноизвилистое русло со старицами или второстепенными протоками. Река меандрирует и несколько раз меняет направление в районе ур. Баротал. На рис. 1 это участок № 16. Условия формирования подпрудные, аналогично участкам № 15, 17, но долина более широкая в связи с наличием здесь неотектонически опущенного блока [9].

5.2. Широкая долина, однорукавное слабоизвилистое русло. На рис. 1 это участки № 20 и 22. Здесь река протекает по восточной части Курайской котловины и в Куэктанарском расширении соответственно. Очевидно, что здесь неотектонические блоки испытывали относительное погружение.

5.6. Широкая долина, многорукавное сильноизвилистое русло с равнозначными протоками. На рис. 1 это участки № 19 и 27. Чуя протекает в пределах Центрально-Курайской впадины [9], более опущенной в неотектоническом отношении по сравнению с западной частью, подтопленной Баротальской плотиной, и в пределах Чуйской котловины.

Таким образом, на основе морфометрического анализа были выделены 13 морфотипов (рис. 4), соответствующих разным по геоморфологическому строению участкам долины р. Чуя, что позволило провести геоморфологическое районирование этой долины. Было выявлено, что различия в значениях морфометрических показателей обусловлены разными неотектоническими обстановками и другими

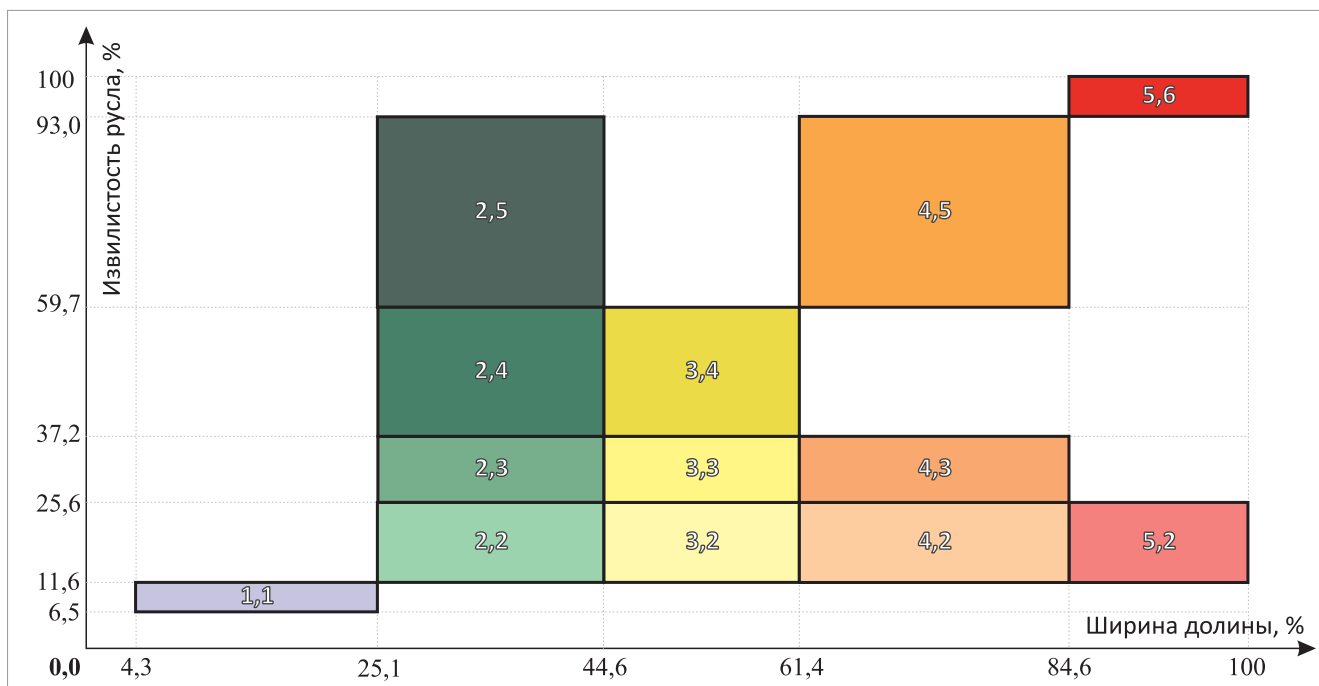


Рис. 4. Значения морфометрических показателей ширины долины (по площади террас) и извилистости русла (по углу отклонения русла) р. Чуя

событиями, такими как подпруживание ледниками и завальными плотинами.

### Выводы

Предложенная методика геоморфологического районирования долины горной реки на основе морфометрического анализа позволяет при историко-генетических и палеогеографических реконструкциях перейти от качественной геоморфологической характеристики к количественной. Разработанные показатели извилистости русла (суммарный угол отклонения и суммарная длина русла в скользящем окне) в сочетании с показателем ширины долины по площадкам пойм и террас являются взаимодополняющими индикаторами, которые дают возможность выявить разные морфологические типы долины горной реки, соответствующие разным обстановкам ее формирования. Индивидуальные для любой другой долины горной реки морфотипы могут быть выделены с использованием описанной морфометрической классификации.

Авторы выражают благодарность к. г.-м. н. Е. В. Дееву за конструктивную критику работы и сотрудникам ГИС-центра Д. В. Пчельникову, к. т. н. Н. В. Глушковой, Д. А. Чупиной за оказанную помощь.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00426 мол\_а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богачкин Б. М.** История тектонического развития Горного Алтая в кайнозое. – М.: Наука, 1981. – 132 с.
2. **Борисов Б. А., Чернышева М. Б.** Стратиграфия и палеогеография четвертичных отложений Яломанской впадины // Кайнозойский седиментогенез и структурная геоморфология СССР. – Л.: ВСЕГЕИ, 1987. – С. 57–62.
3. **Геологическая** карта СССР. М-6 1:1 000 000 (новая серия). Лист N-(44),45. Объяснительная записка. – Л.: ВСЕГЕИ, 1988. – 134 с.
4. **Ефимцев Н. А.** О строении и происхождении антропогенных отложений долин рек Чуи и Катунь в Горном Алтае // Бюллетень комитета по изучению четвертичного периода. – 1964. – № 29. – С. 115–131.
5. **Зольников И. Д.** Гляциогенно обусловленные суперпаводки неоплейстоцена Горного Алтая и их связь с историей формирования отложений и рельефа Западно-Сибирской равнины // Бюллетень комитета по изучению четвертичного периода. – 2009. – № 69. – С. 59–70.
6. **Зольников И. Д., Мистрюков А. А.** Четвертичные отложения и рельеф долин Чуи и Катунь. – Новосибирск: Параллель, 2008. – 180 с.
7. **Ивановский Л. Н.** Изучение речных террас Центрального Алтая // География и природные ресурсы. – 1998. – № 3. – С. 133–140.

8. **Маккавеев Н. И.** Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 347 с.

9. **Неведрова Н. Н., Деев Е. В., Санчаа А. М.** Глубинное строение и характеристики краевых структур Курайской впадины (Горный Алтай) по данным геоэлектрики с контролируемым источником // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 1. – С. 119–132.

10. **Новиков И. С.** Морфотектоника Алтая. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 313 с.

11. **Новые** результаты OSL-датирования четвертичных отложений долины верхней Катунь (Горный Алтай) и прилегающей территории / И. Д. Зольников, Е. В. Деев, С. А. Котлер и др. // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 6. – С. 1184–1197.

12. **Окишев П. А.** Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. – Томск: Изд-во ТГУ, 1982. – 209 с.

13. **Рагозин Л. А.** О соотношении террас Центрального Алтая и предгорий в системе р. Катунь // Труды II Всесоюз. геогр. съезда. Т. 2. – Л., 1948. – С. 188–192.

14. **Рудой А. Н.** Гигантская рябь течения (история исследований, диагностика, палеогеографическое значение). – Томск: ТГПУ, 2005. – С. 224.

15. **Сладкопевцев С. А.** Развитие речных долин и неотектоника. – М.: Недра, 1972. – 184 с.

16. **Сравнительный** анализ суперпаводковых отложений и аллювия долин рек Чуя и Катунь / И. Д. Зольников, Е. В. Деев, Д. В. Назаров и др. // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 8. – С. 1483–1495.

17. **Чистяков А. А.** Горный аллювий. – М.: Недра, 1978. – 287 с.

18. **Mega flood** sedimentary valley fill: Altai Mountains, Siberia / P. A. Carlin, I. P. Martin, J. Herget, et al. // Mega flooding on Earth and Mars. – Cambridge University Press, 2009. – P. 243–264.

### REFERENCES

1. Bogachkin B.M. *Istoriya tektonicheskogo razvitiya Gornogo Altaya v kaynozoe* [The history of tectonic development of Gorny Altai in Cenozoic]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 132 p. (In Russ.).
2. Borisov B.A., Chernyshova M.B. [Stratigraphy and paleogeography of Quaternary sediments of the Yalomman depression]. *Trudy k XII kongressu INKVA "Kaynozoykiy sedimentogenez i strukturnaya geomorfologiya SSSR"* [To XII Congress of INQUA "Cenozoic sedimentogenesis and structural geomorphology of the USSR"]. Leningrad, VSEGEI Publ., 1987, pp. 57–62. (In Russ.).
3. *Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:1000 000 (novaya seriya). List N-(44),45. Ob'yasnitel'naya zapiska* [Geological map of the USSR, scale 1:1 000 000 (new series), sheet N-(44)-45. Explanatory note]. Leningrad, VSEGEI Publ., 1988. 134 p. (In Russ.).
4. Yefimtsev N.A. [About structure and origin of antropogenic sediments of the Chuya and Katun' River valleys in the Gorny Altay]. *Byulleten' komis-*



*sii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Bulletin of Commission for study of the Quarternary], 1964, no. 29, pp. 129–131. (In Russ.).

5. Zolnikov I.D. [Glacigenously caused megafloods of the Neo-Pleistocene in the Gorny Altai and its connection with the history of formation of sediments and relief of the West Siberian Plain]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Bulletin of Commission for study of the Quarternary]. Moscow, GEOS Publ., 2009, no. 69, pp. 59–70. (In Russ.).

6. Zolnikov I.D., Mistryukov A.A. *Chetvertichnye otlozheniya i rel'ef dolin Chuyi i Katuni* [Quaternary sediments and relief of the Chuya and Katun' valleys]. Novosibirsk, Parallel' Publ., 2008. 180 p. (In Russ.).

7. Ivanovsky L.N. [Study of river terraces in the Central Altay]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 1998, no. 3, pp. 133–140. (In Russ.).

8. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee bassejne* [Riverbed and erosion in the basin]. Moscow, SB AS USSR Publ., 1955. 347 p. (In Russ.).

9. Nevedrova N.N., Deev E.V., Sanchaa A.M. [Deep structure and margin of the Kuray basin (Gorny Altay), from controlled-source resistivity data]. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 1, pp. 98–107.

10. Novikov I.S. *Morfotektonika Altaya* [Altai Morphotectonics], Novosibirsk, SB RAS Publ., 2004. 313 p. (In Russ.).

11. Zolnikov I.D., Deev E.V., Kotler S.A., et al. [New results of OSL dating of Quaternary sediments in the Upper Katun' valley (Gorny Altay) and adjacent area].

*Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 6, pp. 933–943.

12. Okishev P.A. *Dinamika oledeneniya Altaya v pozdnem plejstocene i golocene* [Dynamics of the Altay glaciation in the Late Pleistocene and Holocene]. Tomsk, University Publ., 1982. 209 p. (In Russ.).

13. Ragozin L.A. [On relation of terraces of the Central Altay and foothills in the system of the Katun' River]. *Trudy II Vsesoyuz. geograf. s'ezda* [Proc. of All-Union geograph. Meeting], 1948, vol. 2, pp. 188–192. (In Russ.).

14. Rudoy A.N. *Gigantskaya ryab' techeniya (istoriya issledovaniy, diagnostika, paleogeograficheskoe znachenie)* [Giant ripples of current (history of investigation, diagnosis, paleogeographical significance)]. Tomsk, Polytechnical University Publ., 2005. 224 p. (In Russ.).

15. Sladkopevtsev S.A. *Razvitie rechnykh dolin i neotektonika* [Development of river valleys and neotectonics]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 287 p. (In Russ.).

16. Zolnikov I.D., Deev E.V., Nazarov D.V., et al. Comparative analysis of megaflood deposits and alluvium of the Chuya and Katun' River valleys (Gorny Altai). *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 8, pp. 1162–1172.

17. Chistyakov A.A. *Gorny alluviy* [Mountain alluvium]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 287 p. (In Russ.).

18. Carling P. A., Martini I.P., Herget J., et al. Megaflood sedimentary valley fill: Altai Mountains, Siberia. *Megaflooding on Earth and Mars*. Cambridge University Press, 2009. pp. 243–264.

© С. А. Котлер, И. Д. Зольников, 2018