



УДК 551.435.1 (571.55)

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-55-66

## Русловая морфодинамика малых рек днищ Тункинской системы котловин

**Безгодова О.В.**

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
E-mail: ola.bezgodova.23@yandex.ru

**Аннотация.** Проведен анализ русловой морфодинамики рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка в пределах днищ котловин Тункинской системы за 1989–2021 гг. с использованием анализа разновременных космических снимков, методов дистанционного зондирования и топографических карт. Полученные морфометрические и морфодинамические характеристики позволили выявить различные по морфодинамике типы русел, получить количественные показатели излучин. Наиболее динамичными оказались участки морфодинамических типов русел с протеканием антропогенных процессов. Также активные изменения протекают на отдельных элементах речных русел и пойм – побочнях, осередках, излучинах, старицах. Общие природные условия и факторы морфодинамики речных русел способствуют распространению в днищах котловин широкопойменного типа русла со свободными излучинами. После мелиоративных работ для бассейнов малых рек характерно снижение частоты затопляемости поймы, уменьшение площади стариц и отмирание проток.

**Ключевые слова:** антропогенные деформации, данные дистанционного зондирования, излучины, малые реки, русловая морфодинамика, Тункинская система котловин

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания № АААА-А21-121012190017-5 «Морфолитолиз Внутренней Азии: теоретические, методические и практические аспекты исследования».

**Для цитирования:** Безгодова О.В. 2024. Русловая морфодинамика малых рек днищ Тункинской системы котловин. Региональные геосистемы, 48(1): 55–66. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-55-66

---

## Channel Morphodynamics of Small Rivers in the Bottom of the Tunka Basins System

**Olga V. Bezgodova**

Institute of Geography SB RAS,  
1 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk 664033, Russia  
E-mail: ola.bezgodova.23@yandex.ru

**Abstract.** The analysis of the channel morphodynamics of the Ihe-Uhgun, Engarga and Tunka rivers within the bottoms of the Tunka basins system was carried out using methods of remote sensing, analysis of multi-temporal space images and topographic maps for 1989–2021. Morphometric and morphodynamic parameters was collected and made it possible to identify various channel types that differ in morphodynamics, and to obtain quantitative indicators of meanders. In general, morphodynamic types remain stable except for areas transformed by anthropogenic processes. Also, active changes occur on individual elements of river channels and floodplains – braid bars, point bars, meanders, oxbows. General natural conditions and factors of morphodynamics of river channels contribute to the spread in the bottoms of basins a wide floodplain type of channel with meanders of free meandering. The basins of



small rivers are characterized by a decrease in the frequency of floodplain flooding, a decrease in the area of oxbow lakes, and the death of channels after reclamation work.

**Keywords:** anthropogenic deformations, bends, channel morphodynamics, remote sensing data, small rivers, Tunka basin system

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of state assignment № AAAA-A21-121012190017-5 “Morpholithogenesis of Inner Asia: theoretical, methodological and practical aspects of the study”.

**For citation:** Bezgodova O.V. 2024. Channel Morphodynamics of Small Rivers in the Bottom of the Tunka Basins System. *Regional geosystems*, 48(1): 55–66 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-55-66

## Введение

Изучение влияния природных и антропогенных факторов на проявление русловых процессов и развитие пойменно-русловых комплексов в бассейнах малых рек имеет большое значение для решения практических задач по устойчивому развитию природных и антропогенных территорий, а также для решения теоретических вопросов формирования рельефа речных бассейнов. Информация о динамике речных русел и пойменных комплексов необходима при планировании и проведении различных хозяйственных мероприятий. Русловые деформации отражают геолого-геоморфологическое развитие речной долины.

Малые реки являются наименее изученными элементами гидрологической сети, при этом они являются чувствительными к изменениям природных и антропогенных факторов. В пределах малых речных бассейнов находится наибольшая концентрация населения, а ведение хозяйственной деятельности может привести к изменениям в стоке и расходах воды, что приведет к резкой динамике русловых процессов. Природные комплексы являются нестабильными во времени, что может привести к нарушению антропогенно преобразованных территорий. Например, такие явления, как размыв и обрушение берегов у грунтовых дорог, а также размыв хозяйственных участков, могут возникать из-за этой нестабильности. В настоящее время малые реки Тункинской системы, включая Тункинскую и Хойтогольскую котловины, являются малоизученными в области русловедения [Безгодова, 2021, 2022], чаще всего работы по русловой морфодинамике рассматривают территорию европейской части России [Завадский и др., 2010; Варенов и др., 2015, Иванов, Ермолаев, 2017].

Цель данного исследования заключается в изучении русловой морфодинамики малых рек в днищах котловин Тункинской системы на примере рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка. В рамках исследования выполнены задачи:

- 1) получить морфометрические и морфодинамические показатели русловых форм рельефа с использованием современных космических снимков за период с 1989 по 2021 г.;
- 2) проанализировать динамику элементов речных русел и долин с использованием разновременных космических снимков и топографических карт; определить степень влияния антропогенного фактора в динамике форм руслового рельефа.

## Объект и методы исследований

Бассейны рек Ихе-Ухгунь (площадь 846 км<sup>2</sup>, протяженность 76 км), Енгарга (площадь 495 км<sup>2</sup>, протяженность 27 км) и Тунка (площадь 811 км<sup>2</sup>, протяженность 48 км) расположены в пределах горного обрамления (хр. Тункинские Гольцы (рис. 1) с высотами 2800–3000 м), а также днищ Тункинской и Хойтогольской котловин, которые входят в Тункинскую систему Байкальской рифтовой зоны [Уфимцев и др., 2006]. Падение русел варьирует от 1210 до 1540 м. Являются левыми притоками р. Иркут.

Горное обрамление котловин (хр. Тункинские Гольцы) сложено трудноразмываемыми породами верхнепротерозойских интрузий [Нагорья ..., 1974]. Днища котловин сложены легкоразмываемыми четвертичными рыхлыми отложениями. Помимо Тункинских Гольцов естественными водоразделами бассейнов являются: межкотловинная перемычка (Ниловская) с высотами до 1700 м, сложенная неогеновыми базальтами; песчаный массив Бадар (инверсионное поднятие) с высотой до 865 м, в составе которого выделяются плейстоценовые и голоценовые эоловые пески [Выркин, 1991]. Для рассматриваемых бассейнов можно выделить следующие общие черты тектонического и геолого-геоморфологического строения: дренирование в верховьях руслами рек трудно размываемых пород с выходом в котловинную часть, покрытыми легко размываемыми отложениями; асимметричный рисунок речной сети (р. Енгарга – правобережная асимметричность, реки Ихе-Ухгунь и Тунка – левобережная асимметричность); по линиям тектонических трещин заложены верхние звенья малой речной сети; средние и нижние течения расположены в области опускающихся блоков земной коры, что обуславливает общее направление притоков рек в сторону нисходящих участков и усиление процессов заболачивания, а также формирование озеровидных расширений русел.

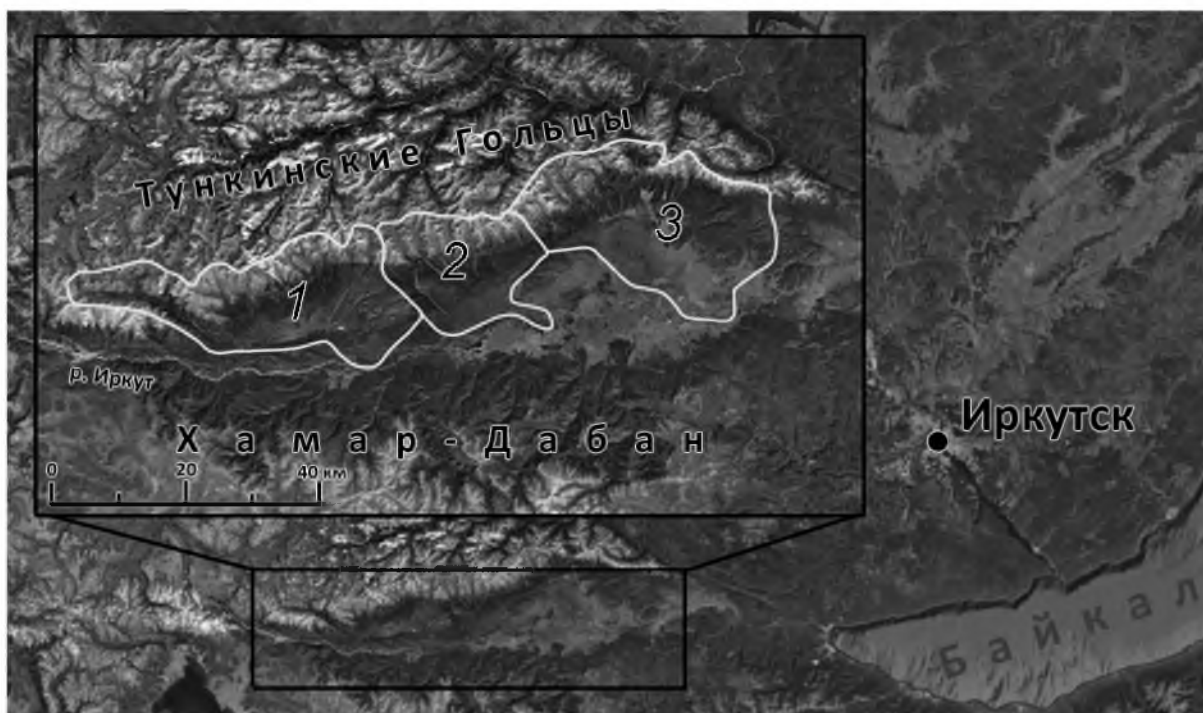


Рис.1. Географическое положение территории исследования. Снимок *Maxar*, 2021 год  
Цифрами обозначены бассейны: 1 – р. Ихе-Ухгунь, 2 – р. Енгарга, 3 – р. Тунка  
Fig.1. Geographic location of the study area. *Maxar* 2021 pictures.  
The numbers indicate river basins: 1 – Ihe-Uhgun, 2 – Yengarga, 3 – Tunka

От днищ котловин к горному обрамлению отмечена дифференциация атмосферных осадков. В горной части выпадает 510 мм осадков и к центральной части бассейнов снижается до 364 мм (по данным метеостанции в с. Тунка [Картушин, 1969]). Большая часть осадков выпадает в виде ливней в июне – августе (более 70 %) [Василенко, Воропай, 2015]. Основное питание рек осуществляется за счет дренирования эрозионной сети притоков Тункинских Гольцов, которые получают сток от талых и атмосферных вод.

Данное исследование основано на работах российских (Р.С. Чалова [2008, 2020], Р.С. Чалова и др. [2020], А.В. Чернова [2009], А.Л. Варенова и др. [2015], Д.И. Школьного [2022]) и зарубежных ученых (М. Church, R.I. Ferguson [2015], X. Guo et al. [2019],

F. Monegaglia et al. [2019], K. Zhao et al. [2021]), которые изучали русловые процессы и русловую морфодинамику. Для анализа использовались данные дистанционного зондирования, полевые исследования за 2018–2021 гг. и картографические материалы. С помощью космических снимков *Maxar* в программе *Google Earth Pro* за 2015–2021 гг., *ESRI* за 2021 год и топографических карт (1989 г., М 1: 100 000) определены типы русловых процессов и проведено измерение морфометрических показателей на ключевых отрезках рек. Привязка, оцифровка и анализ космических снимков проведены с использованием программы *QGIS 3.22* (рис. 2). Далее на ключевых отрезках рек получены основные морфометрические показатели русел и их элементов, на основе рассчитанных коэффициентов определены типы излучин.

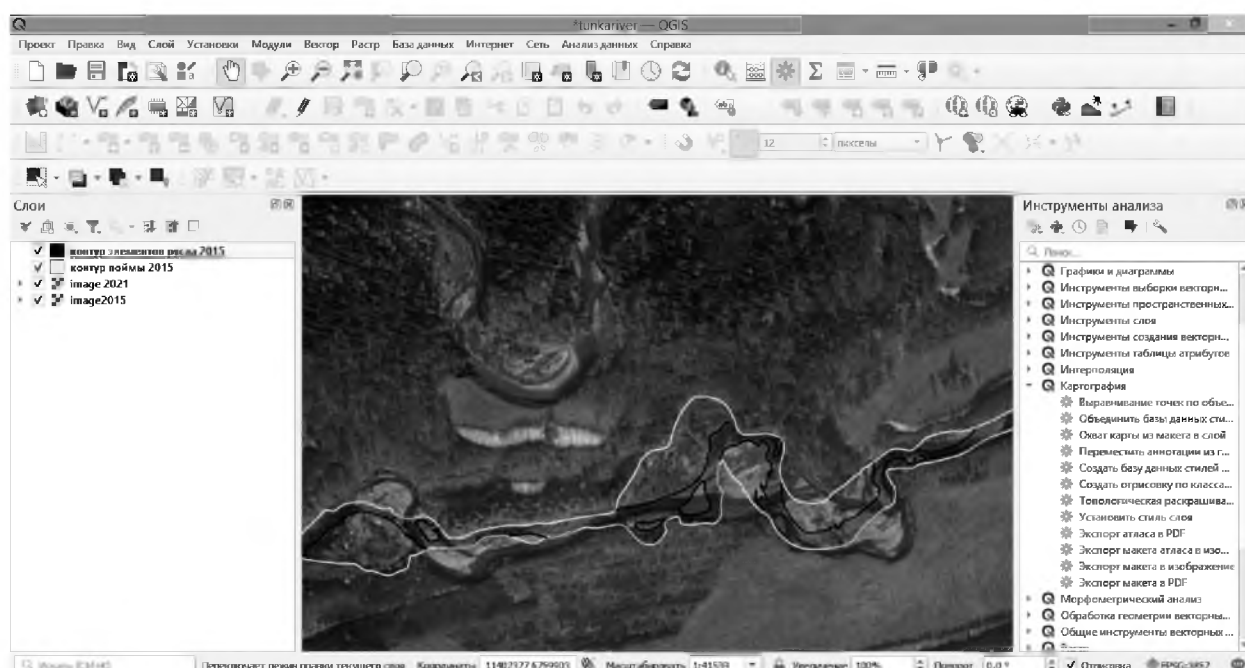


Рис.2. Наложение контура поймы (белый) и элементов речного русла (черный) на участок разветвленно-извилистого русла р. Ихе-Ухгунь за 2015 год на снимок *Maxar* 2021 года в программе *QGIS 3.22*

Fig.2. Overlay of the floodplain contour (white) and river channel elements (black) on a section of the branched-winding Ihe-Uhgung river channel for 2015 on *Maxar* image 2021 in *QGIS 3.22*

Топографические карты за 1989 год масштабов 1:100 000 использовались автором для определения мест антропогенных спрямлений русел, измерения площади мелиоративных каналов, деформаций элементов русел и пойм (стариц, проток, крупных излучин).

### Результаты и их обсуждение

Для исследования были выбраны ключевые отрезки рек, расположенные в днищах котловин (меньшая стабильность русел в плане, по сравнению с горной частью бассейнов) с участками антропогенного преобразования. Для р. Ихе-Ухгунь это отрезок «оз. Каторжан – устье р. Хаюрты» – 17 км. Для р. Енгарги выбран отрезок «оз. Енгаргинское – устье», протяженностью 11 км. Для р. Тунки ключевой отрезок длиной 25 км – «оз. Большой Саган-Нур – устье».

Наиболее динамичные участки русел установлены с помощью анализа разновременных космических снимков *Maxar* за период 2015–2021 гг. Для р. Ихе-Ухгунь выделено три нестабильных участка: высыхающее русло притока – р. Ихе-Булнай в пределах поймы, где также происходит сокращение площади старичных озер; отрезок с нарастающим извилистостью русла на адаптированном участке русла в районе улуса Хойто-Гол; уча-



сток смены ведущей роли рукава в пределах широкопойменного разветвленно-извилистого русла [Безгодова, 2022]. Для р. Енгарги наиболее динамичный участок – старое пересыхающее русло в нижнем течении, а для р. Тунки – спрямление излучин в районе мелиоративных каналов с общим снижением количества старичных озер.

*Общие природные факторы русловой морфодинамики русел.* Развитие широкопойменных участков со свободными излучинами для изучаемых рек связано с особенностями морфоструктурного строения территорий (днища котловин); темпами тектонического опускания блоков фундамента, на которых расположены озерно-аллювиальные и аллювиальная равнины; поднятием смежных участков (Ниловская межкотловинная перемычка и хребет Тункинские Гольцы), увеличивающим снос рыхлого вещества; расположением рек в пределах легко размываемых аллювиальных и флювиогляциальных пород плейстоцена и голоцена (пески, супеси).

При выходе русла р. Ихе-Ухгунь из горной части, где преобладают трудно размываемые породы верхнего протерозоя, в Хойтогорьскую котловину формируется широкопойменный тип русла. Ниже по течению наличие нисходящих движений фундамента в центре Хойтогорьской котловины и легко размываемые рыхлые отложения привели к смене типа русла на разветвленно-извилистый. Это способствует аккумуляции стока наносов и воды. Синхронизация вершин некоторых излучин обусловлена тектоническим фактором. При близком прохождении русла к трудно размываемым базальтовым породам неогена Ниловской межкотловинной перемычки появляются адаптированные излучины. Также на реках Енгарга и Тунка образуются излучины адаптированного типа при близком прохождении русла к песчаным отложениям массива Бадар.

На основе анализа данных космоснимков *ESRI* за 2021 год для каждого ключевого отрезка изучаемых рек получены морфометрические характеристики излучин: длина ( $l$ ), ширина русла ( $br$ ), шаг ( $L$ ), стрела прогиба ( $h$ ). Типы излучин определены с помощью расчета параметрических коэффициентов – отношения длины к стреле прогиба ( $l/h$ ) и степени развитости излучины ( $l/L$ ) (см. табл.).

Морфометрические показатели рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка на ключевых отрезках русел  
Morphometric indicators of the Ihe-Uhgun, Yengarga and Tunka rivers at key sections of the channels

Название реки	Протяженность участка (км)/ кол-во излучин	Коэффициент развитости излучины	Отношение длины к стреле прогиба
Ихе-Ухгунь	17/51	От 1,08 до 4,07 (среднее 1,79)	От 0,29 до 8,09 (среднее 2,27)
Енгарга	11/79	От 1,09 до 6,31 (среднее 1,89)	От 0,33 до 5,16 (среднее 2,14)
Тунка	25/105	От 1,08 до 4,5 (среднее 1,78)	От 0,84 до 13,13 (среднее 3,15)

*Морфодинамические типы русел р. Ихе-Ухгунь.* Среднее течение р. Ихе-Ухгунь отличается наибольшим разнообразием морфодинамических типов из-за сложности геолого-геоморфологического строения территории. Выделены три типа русловых процессов: широкопойменный со свободными излучинами и извилистым руслом, широкопойменный тип преимущественно с адаптированными излучинами и разветвленно-извилистым руслом, адаптированный с извилистым руслом и участками антропогенного преобразования [Безгодова, 2022]. Протяженность участков с широкопойменным типом составляет 14,3 км, а с адаптированным типом – 2,5 км.



Среднее течение р. Ихе-Ухгунь характеризуется наименьшей степенью меандрирования на всем своем протяжении. По данным космоснимка *ESRI* за 2021 год на участке с широкопойменным типом русла (протяженность 2,5 км) до разветвления русла выделено 6 излучин. Далее, на участке с широкопойменным разветвленно-извилистым типом русла (протяженность 5,5 км) с преимущественно адаптированными излучинами, отмечено 35 излучин. На разветвленном участке русла со свободными излучинами (протяженность 3 км) в 1989 году существовало 14 излучин, а к 2021 году осталось 6 излучин. Затем следует спрямленный адаптированный участок, который сменяется извилистым участком со свободными излучинами (протяженностью 3,3 км). Всего на ключевом участке р. Ихе-Ухгунь выделено 7 излучин динамической оси, 16 сегментные пологие, 8 сегментные развитые, 3 сегментные крутые, 9 петлеобразные и крутые петлеобразные, 3 синусоидальные, 3 пальцеобразные и 2 сложные излучины.

В районе оз. Каторжан на участке р. Ихе-Ухгунь, который характеризуется широкопойменным типом русла со свободными излучинами, ширина русла варьирует от 6 до 29 м. Ширина поймы изменяется от 290 до 380 м, ширина долины – от 1,1 км до 1,6 км. Падение русла достигает 13,2 м/км. По данным космоснимка *ESRI* 2021 года отмечены следы палеоразветвлений русла в пределах поймы, которые в настоящее время не являются основными в стоке воды и наносов. В русле также присутствуют побочни. На участке с широкопойменным разветвленно-извилистым типом русла, где преимущественно расположены адаптированные излучины, произошла смена ведущего рукава реки в переносе наносов и воды (правый стал ведущим).

Левый рукав реки был основным руслом, отвечающим за перенос воды и наносов, согласно данным топокарты за 1989 год. Правый рукав отмечен на карте как пересыхающий. К настоящему времени ситуация изменилась: левый рукав больше не является основным, он частично обмелел и потерял связь с основным руслом реки выше по течению. Площадь старичных озер на участке сократилась, а наличие рисунка палеоизлучин говорит о динамичности данного участка реки. Ширина русла на участке с широкопойменным разветвленно-извилистым типом русла варьирует от 11 до 19 м, ширина поймы достигает 890 м, а ширина долины составляет 1,3–1,5 км. Падение русла на этом участке составляет 4,6 м/км.

Отмершие излучины на участке разветвленного русла со свободными излучинами имеют старичный режим осадконакопления. Смещение русла с севера на юг отмечено по формированию побочней. Ширина русла изменяется от 13 до 20 м, ширина сегментно-гвивистой поймы – 690 м, долины на участке – 2,2–2,7 км. Падение русла составляет 6,9 м/км. На последнем участке изучаемого отрезка р. Ихе-Ухгунь отмечено увеличение извилистости русла, а также активная аккумуляция наносов в виде осередков и побочней. Ширина русла здесь от 19 до 39 м, а сегментно-гвивистой поймы – до 795 м. Ширина долины до 2,6 км, а падение русла составляет 1,9 м/км.

Таким образом, наиболее динамичный участок русла р. Ихе-Ухгунь – широкопойменный разветвленно-извилистый тип из-за смены ведущей роли рукавов и процесса отмирания протоков. Здесь же мелиоративные работы привели к снижению затопляемости высокой поймы, о чем свидетельствуют данные о снижении обводненности стариц и увлечении площади хозяйственных участков на пойме (согласно анализу космоснимков за 1989–2021 гг.).

*Морфодинамические типы русел рек Енгарга и Тунка.* Ключевые отрезки русел рек Енгарга и Тунка расположены в пределах озерно-аллювиальной равнины р. Иркут, в настоящий момент для которой характерно тектоническое опускание [Расказов и др., 2000]. Опускающиеся участки земной коры являются местом сбора стока малых рек – притоков Енгарги и Тунки, здесь образуются обширные поймы и долины с озерными расширениями русел. В пределах ключевых участков заболоченные поймы преобразованы мелиоративными каналами. Широкопойменный извилистый тип русла преимущественно с

адаптированными излучинами, а также широкопойменный извилистый тип со свободными излучинами отмечен для р. Енгарги и р. Тунки. Различия в наборе морфодинамических типов русел выявлены только для участков спрямления: для Енгарги отмечено антропогенно преобразованное (спрямленное) русло, а для р. Тунки выделены относительно прямолинейные участки русла (рис. 3 и 4). Протяженность участков широкопойменного типа со свободными излучинами для р. Енгарги составляет 3,4 км, р. Тунки – 17,5 км; с адаптированными излучинами для р. Енгарги – 6,9 км, для р. Тунки – 6,1 км.

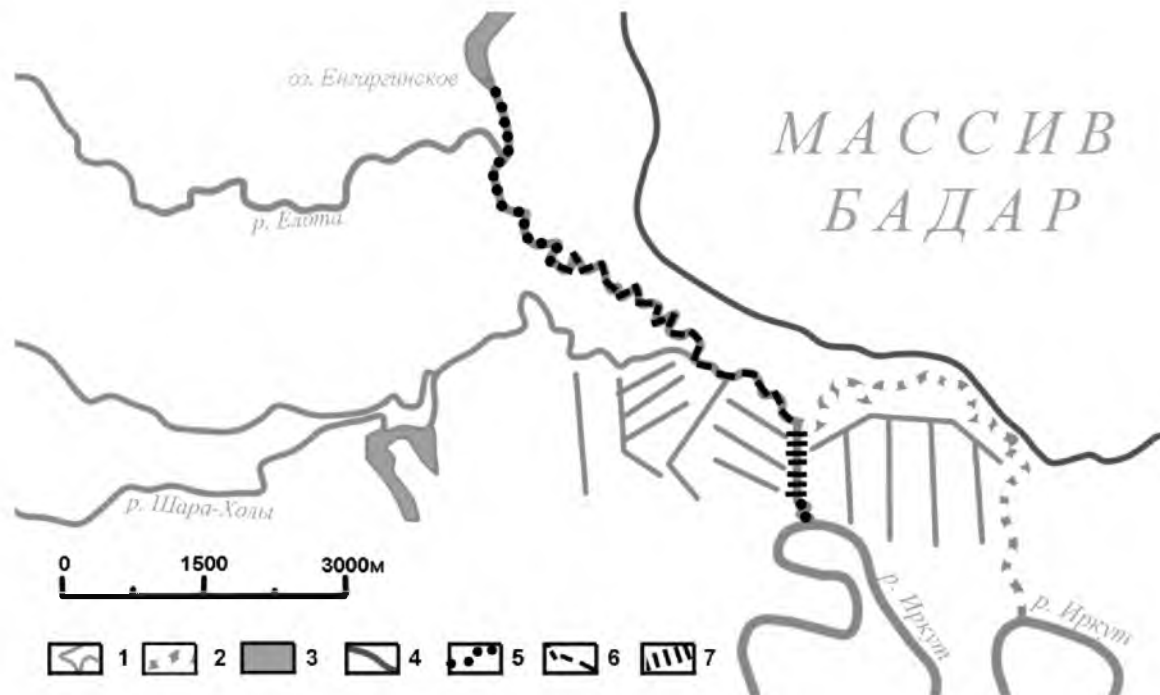


Рис.3. Карта-схема морфодинамических типов русла на участке «оз. Енгаргинское – устье р. Енгарги». Цифрами обозначены: 1 – реки и мелиоративные каналы, 2 – пересыхающее русло р. Енгарги, 3 – озера, 4 – грунтовая дорога. Морфодинамический тип русла: 5 – широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами, 6 – широкопойменный извилистый тип русла преимущественно с адаптированными излучинами, 7 – антропогенно преобразованное (спрямленное) русло

Fig.3. Schematic map of the morphodynamic types of the Yengarga channel in the section of «lake Yengarginskoe – the mouth of the Yengarga river». The numbers indicate: 1 – rivers and reclamation canals, 2 – drying up Yengarga river bed, 3 – lakes, 4 – dirt road.

Morphodynamic type of channel: 5 – wide-floodplain meandering type of channel with free bends, 6 – wide-floodplain meandering type of channel mainly with adapted bends, 7 – anthropogenically transformed (straightened) channel

Для рек Тунка и Енгарга нехарактерно большое разнообразие морфодинамических типов русел, но при этом их отличает большая степень извилистости и значительная площадь мелиоративных каналов на пойме. Для изучаемого отрезка Енгарги по данным космоснимка *ESRI* за 2021 год в пределах широкопойменного извилистого типа русла со свободными излучинами встречается 17 излучин и после спрямленного участка – 10 излучин; на участке с адаптированными излучинами выделено 52 излучины. По типам выделяются: 9 излучин динамической оси, 16 сегментных пологих, 13 сегментных развитых, 13 сегментных крутых, 15 петлеобразных, 5 синусоидальных, 2 пальцеобразные и 6 сложных излучин.

Ширина русла Енгарги на участке широкопойменного извилистого русла со свободными излучинами варьирует от 6 до 18 м, при ширине сегментной ровной поймы

162–295 м. Ширина долины изменяется от 0,8 км до 1,1 км, а падение русла – 1,2 м/км. В пределах поймы и долины встречаются озера, реже старичные. Далее выделяется протяженный участок русла с адаптированными излучинами с озерными комплексами на пойме и мелиоративными каналами. Ширина русла на данном участке варьирует от 6 до 19 м, сегментная ровная пойма имеет ширину 100–255 м, ширина долины достигает 1,1–1,5 км. Падение русла – 1,01 м/км. Здесь на левом берегу отмечены редкие следы вогнутых понижений и старичных озер, местами пересохших, тогда как на правом берегу рисунок палеосети отсутствует. Левый берег полностью покрыт лесной растительностью, при этом на правом берегу лесной покров почти отсутствует, что благоприятно для нивелирования поверхности рельефа процессами пойменной аккумуляции.

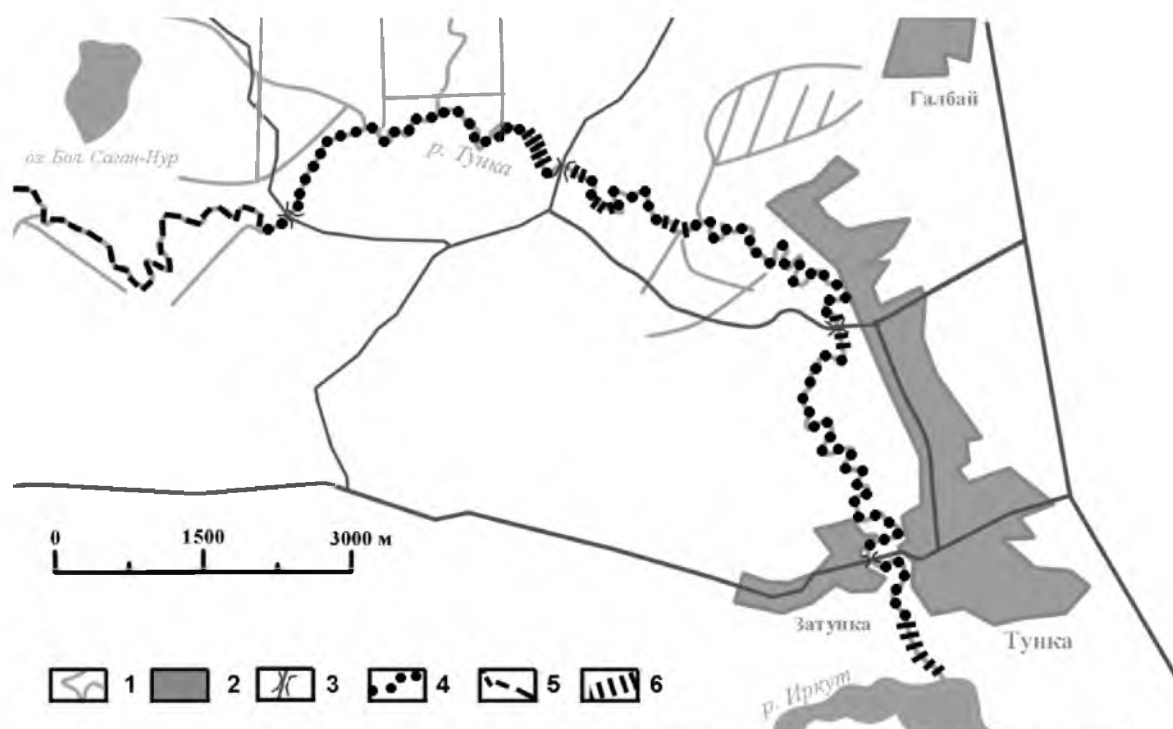


Рис. 4. Карта-схема морфодинамических типов русла на участке «оз. Бол. Саган-Нур – устье р. Тунка» Цифрами обозначены: 1 – реки и мелиоративные каналы, 2 – населенные пункты, 3 – мосты и дороги.

Морфодинамические типы русел: 4 – широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами, 5 – широкопойменный извилистый тип русла преимущественно с адаптированными излучинами, 6 – относительно прямолинейные участки русла

Fig. 4. Schematic map of the morphodynamic types of the Tunka channel in the section of «lake Bolshoy Sagan-Nur – the mouth of the Tunka river» The numbers indicate: 1 – rivers and reclamation canals, 2 – settlements, 3 – bridges and roads. Morphodynamic types of channels: 4 – wide-floodplain meandering type of channel with free bends, 5 – wide-floodplain meandering type of channel mainly with adapted bends, 6 – relatively straight sections of the channel.

Как показано на топографической карте масштаба 1:100 000, изданной в 1989 году, р. Енгарга впадала в р. Иркут ниже по течению на 6,8 км. В настоящий момент старое русло не функционирует как основное, наблюдается старичный режим осадконакопления. До строительства мелиоративного канала русло сменяло участок с адаптированными излучинами на свободные, где насчитывалось 88 излучин. После спрямленного участка основное русло было отведено в небольшую протоку р. Иркут, для которой характерен широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами.

Для отрезка р. Тунки «оз. Большой Саган-Нур – устье» по данным космоснимка ESRI за 2021 год выделено два морфодинамических типа русла: широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами, где отмечено 72 излучины; широкопоймен-





ный извилистый тип русла преимущественно с адаптированными излучинами (33 излучины). По типам выделяются: 6 излучин динамической оси, 28 сегментных пологих, 22 сегментные развитые, 9 сегментных крутых, 21 петлеобразная и крутая петлеобразная, 5 пальцеобразных и 14 сложных.

От оз. Саган-Нур начинается участок извилистого типа русла преимущественно с адаптированными излучинами, ширина русла здесь изменяется от 9 до 19 м. Пойма от сегментной ровной переходит в сегментно-гвивистую, а ширина варьирует от 970 м до 1200 м при ширине долины до 2,5 км. Падение русла на данном участке – 1,22 м/км. Отсюда вниз по течению к устью наблюдается нарастание общей степени извилистости русла и переход на широкопойменный тип со свободными излучинами. Ширина русла на этом участке 11–52 м, ширина поймы сужается от 970 до 330 м к устью (сегментно-гвивистая), ширина долины от 1,8 до 1,1 км, падение русла – 0,45 м/км (самый низкий показатель из всех рассматриваемых отрезков рек).

*Антропогенный фактор динамики русел.* В пределах территории бассейнов рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка в 80-х годах XX века проведены работы по строительству мелиоративных каналов. На ключевом участке русла р. Ихе-Ухгунь в районе улуса Хойто-Гол ведется активная хозяйственная деятельность. Большая часть высокой поймы занята хозяйственными участками, жилыми постройками и пастбищами для крупного рогатого скота. В процессе мелиоративных работ русло реки было спрямлено с целью уменьшения затопляемости поймы и эрозии берегов. Однако, согласно космическим снимкам и полевым исследованиям, на данный момент русло становится более извилистым. Наблюдаются участки с обваливанием береговых уступов, а также отмечено увеличение площади побочной по данным снимков *Maxar* за период с 2015 по 2021 г. Русловые процессы привели к формированию извилистого типа русла с начальным формированием адаптированных излучин. В целом для бассейна р. Ихе-Ухгунь отмечается снижение уровня воды в старичных озерах и отмирание пальцеобразных излучин из-за наличия мелиоративных каналов на левом берегу реки, которые занимают площадь 4,6 км<sup>2</sup>.

Для рек Енгарга и Тунка антропогенные трансформации пойм были связаны с проведением мелиоративных мероприятий (строительство осушительных каналов). Длина мелиоративного канала на р. Енгарге составляет 0,7 км и по нему в настоящий момент осуществляется основной сток воды и наносов реки. Канал сохраняет преимущественно прямолинейную форму, местами имея четковидные расширения до 11 м (при средней ширине канала 5 м). Общая площадь мелиоративных каналов на правом берегу Енгарги – 4,4 км<sup>2</sup>. Осушение привело к снижению площади старичных озер на 38 %.

На р. Тунке русло не претерпело прямых изменений. Основные мелиоративные работы затронули русла притоков (Хобок, Кынгарга и др.). Общая площадь мелиоративных каналов на правом берегу Тунки – 2 км<sup>2</sup>. Протяженность сети мелиоративных каналов в пределах поймы р. Тунки – 13,8 км. На притоках отмечено общее снижение извилистости (по данным космических снимков *Maxar* за 2015–2021 гг.). Снижение извилистости может привести к заилению русел вследствие уменьшения расходов воды (из-за перераспределения стока воды) [Варенов и др., 2015]. Мелиоративные работы привели к снижению плановых деформаций русел, а также к ослаблению продольного и поперечного смещения всех типов излучин в пределах мелиоративных систем по сравнению с участками без антропогенного преобразования (выше по течению притоков).

### Заключение

Наиболее активные русловые деформации в пределах изучаемого отрезка русла р. Ихе-Ухгунь «оз. Каторжан – устье р. Хаюрты» отмечены на участке с разветвленно-извилистым руслом, где произошла смена ведущего рукава для переноса воды и наносов. С 1989 по 2021 г. основные изменения морфометрии затронули элементы речного русла и



поймы (старицы, побочни и протоки). Активное развитие русловых процессов в правом рукаве в пределах разветвленно-извилистого участка и увеличение концентрации стока воды и наносов привели к общему увеличению количества излучин на ключевом отрезке реки.

Наиболее динамичным участком р. Енгарги на отрезке «оз. Енгаргинское – устье» без учета антропогенного преобразования является широкопойменный тип русла преимущественно с адаптированными излучинами, с учетом антропогенного фактора – отрезок русла после строительства мелиоративного канала, где произошла остановка русловых процессов. Для широкопойменного типа характерны наибольшие средние и максимальные показатели коэффициента развитости излучин (среднее 1,89), при этом с наименьшими показателями для отношения длины к стреле прогиба (среднее значение 2,14).

Для р. Тунки на изучаемом отрезке «оз. Большой Саган-Нур – устье» наиболее динамичный участок – широкопойменный тип со свободными излучинами, где отмечено общее снижение количества старичных озер и спрямление излучин в районе мелиоративных каналов. Абсолютный максимум и максимум среднего значения показателя отношения длины к стреле прогиба (среднее 3,15) связаны с активным тектоническим прогибанием фундамента озерно-аллювиальной равнины, которое усиливает процессы меандрирования в пределах данного участка.

### Список литературы

- Безгодова О.В. 2021. Применение морфометрического анализа для бассейнов малых рек котловин Байкальской рифтовой зоны. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 31(3): 290–300. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-3-290-300>
- Безгодова О.В. 2022. Русловая морфодинамика среднего течения реки Ихе-Ухгунь. В кн.: Архитектура многополярного мира в XXI веке: экология, экономика, геополитика, культура и образование. VII Международная научно-практическая конференция, Биробиджан, 30 апреля 2022. Биробиджан, Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема: 104–110.
- Варенов А.Л., Ботавин Д.В., Завадский А.С., Тарбеева А.М., Чалов Р.С. 2015. Русловые процессы на малых реках староосвоенной территории (на примере рек бассейна р. Кудьмы, Приволжская возвышенность). В кн.: Эрозионные и русловые процессы. М., Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова: 131–160.
- Василенко О.В., Воропай Н.Н. 2015. Особенности формирования климата котловин юго-западного Прибайкалья. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2: 104–111.
- Выркин В.Б. 1991. Общность и различия некоторых черт природы Тункинской ветви котловин, География и природные ресурсы, 4: 61–68.
- Иванов М.А., Ермолаев О.П. 2017. Геоморфометрический анализ бассейновых геосистем Приволжского федерального округа по данным STRM и ASTER GDEM. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 14(2): 98–109. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-2-98-109>.
- Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н., Серебренникова И.А., Смирнова Е.А., Чернов А.В. 2010. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР. В кн.: Эрозионные и русловые процессы. М., Изд-во «Макс-пресс»: 220–251.
- Картушин В.А. 1969. Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири. Иркутск, Издательство Восточно-Сибирской книги, 100 с.
- Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. 1974. М., Наука, 359 с.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Иванов А.В., Рассказов С.В. 2000. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь Южная и Восточная Азия). Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 288 с.
- Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А., Филинов И.А. 2006. Новейшая геодинамика Тункинского рифта (Прибайкалье). Литосфера, 2: 95–102.
- Чалов Р.С. 2008. Русловедение: теория, география, практика. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М., Изд-во ЛКИ, 610 с.



- Чалов Р.С. 2020. Генетическая составляющая типизации речных русел. *Геоморфология*, 2: 3–20. <https://doi.org/10.31857/S0435428120020030>.
- Чалов Р.С., Лю Ш., Чернов А.В., Михайлова Н.М., Чалов С.Р., Чалова А.С., Чалова Е.Р., Беркович К.М., Дай Ч., Цай И., Чжун Г., Лао Ш. 2020. Сравнительный анализ русловых процессов на больших реках России (азиатская часть), Монголии и Китая. В кн.: *Эрозионные и русловые процессы*. М., Географический факультет МГУ: 307–338.
- Чернов А.В. 2009. *География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии*, М., Крона, 684 с.
- Школьный Д.И. 2022. Пространственное распределение и географические закономерности развития экстремальных размывов берегов рек на территории России. В кн.: *Эрозия почв и русловые процессы*. М., ФГБОУ МГУ: 272–294.
- Church M., Ferguson R.I. 2015. Morphodynamics: Rivers Beyond Steady State. *Water Resources Research*, 51(4): 1883–1897. <https://doi.org/10.1002/2014WR016862>.
- Guo X., Chen D., Parker G. 2019. Flow Directionality of Pristine Meandering Rivers is Embedded in the Skewing of High-Amplitude Bends and Neck Cutoffs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47): 23448–23454. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910874116>.
- Monegaglia F., Tubino M., Zolezzi G. 2019. Interaction Between Curvature-Driven Width Oscillations and Channel Curvature in Evolving Meander Bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 876: 985–1017. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.574>.
- Zhao K., Lanzoni S., Gong Z., Coco G. 2021. A Numerical Model of Bank Collapse and River Meandering. *Geophysical Research Letters*, 48(12): e2021GL093516. <https://doi.org/10.1029/2021GL093516>.

## References

- Bezgodova O.V. 2021. Application of Morphometric Analysis for Small River Basins of the Baikal Rift Zone Basins. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 31(3): 290–300 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-3-290-300>.
- Bezgodova O.V. 2022. Ruslovaya morfodinamika srednego techeniya reki Ihe-Uhgun [Channel Morphodynamics of the Middle Reaches of the Ihe-Ukhgun River]. In: *Arkhitektura mnogopolyarnogo mira v XXI veke: ekologiya. ekonomika. geopolitika. kultura i obrazovaniye* [Architecture of a Multipolar World in the 21st Century: Ecology, Economics, Geopolitics, Culture and Education]. VII International Scientific and Practical Conference, Birobidzhan, 30 April 2022. Birobidzhan, Publ. Priamurskiy gosudarstvennyy universitet im. Sholom-Aleykhema: 104–110.
- Varenov A.L., Botavin D.V., Zavadsky A.S., Tarbeyeva A.M., Chalov R.S. 2015. Ruslovye processy na malyh rekah staroosvoennoj territorii (na primere rek bassejna reki Kud'my, Privolzhskaya vozvyshehnosti) [Channel Processes on small Rivers of the Old Developed Territory (On the Example of the Rivers of the Kudma River Basin, Privolzhskaya Upland)]. In: *Eroziionnyye i ruslovyye protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Geograficheskiy fakultet Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M.V. Lomonosova: 131–160.
- Vasilenko O.V., Voropay N.N. 2015. Features of Climate Formation of Depressions in South-Western Baikal Region. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2: 104–111 (in Russian).
- Vyrkin V.B. 1991. Obshhnost' i razlichija nekotoryh chert prirody Tunkinskoj vetvi kotlovin [Generality and Differences of Some Features of the Nature of the Tunka Branch Basins]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 4: 61–68.
- Ivanov M.A., Ermolaev O.P. 2017. Geomorphometric Analysis of River Basins of the Volga Federal District Using SRTM and Aster GDEM Data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 14(2): 98–109 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-2-98-109>.
- Zavadsky A.S., Lobanov G.V., Petukhova L.N., Serebrennikova I.A., Smirnova E.A., Chernov A.V. 2010. Rezul'taty stacionarnyh issledovaniy ruslovyh processov na rekah ETR [Results of Stationary Studies of Channel Processes on the ETR Rivers]. In: *Eroziionnyye i ruslovyye protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Max-press: 220–251.
- Kartushin V.A. 1969. *Agroklimaticheskie resursy juga Vostochnoj Sibiri* [Agroclimatic Resources of the South of Eastern Siberia]. Irkutsk, Publ. Vostochno-Sibirskoy knigi, 100 p.



- Nagor'ya Pribajkal'ya i Zabajkal'ya [Highlands of the Baikal Region and Transbaikalia]. 1974. Moscow, Publ. Nauka, 359 p.
- Rasskazov S.V., Logachev N.A., Brandt I.S., Ivanov A.V., Rasskazov S.V. 2000. Geohronologiya i geodinamika pozdnego kajnozoya (Yuzhnaya Sibir', Yuzhnaya i Vostochnaya Aziya) [Geochronology and Geodynamics of the Late Cenozoic (Southern Siberia, Southern and Eastern Asia)]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 288 p.
- Ufimtsev G.F., Shchetnikov A.A., Filinov I.A. 2006. Novejshaja geodinamika Tunkinskogo rifta (Pribajkal'e) [Recent Geodynamics of the Tunka Rift (Baikal Region)]. *Litosfera*, 2: 95–102.
- Chalov R.S. 2008. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. Ruslovyje processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnyh rusel [Ruslovedenie: Theory, Geography, Practice. Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms of Manifestation and Conditions for the Formation of River Channels]. Moscow, Publ. LKI, 610 p.
- Chalov R.S. 2020. The Genetic Component of River Bed Typologies. *Geomorphology*, 2: 3–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0435428120020030>.
- Chalov R.S., Liu Sh., Chernov A.V., Mikhaylova N.M., Chalov S.R., Chalova A.S., Chalova E.R., Berkovich K.M., Day Ch., Tsay I., Chzhun G., Lao Sh. 2020. Sravnitel'nyj analiz ruslovyh processov na bol'shikh rekah Rossii (aziatskaya chast'), Mongolii i Kitaya [Comparative Analysis of Channel Processes on Large Rivers of Russia (Asian Part), Mongolia and China]. In: *Eroziionnyye i ruslovyje protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Geograficheskij fakultet MGU: 307–338.
- Chernov A.V. 2009. Geografiya i geoekologicheskoe sostoyanie rusel i pojm rek Severnoj Evrazii [Geography and Geoecological State of Channels and Floodplains of the Rivers of Northern Eurasia]. Moscow, Publ. Krona, 684 p.
- Shkolny D.I. 2022. Prostranstvennoe raspredelenie i geograficheskie zakonomernosti razvitiya ekstremal'nyh razmyvov beregov rek na territorii Rossii [Spatial Distribution and Geographic Patterns of Development of Extreme Erosion of River Banks on the Territory of Russia]. In: *Eroziya pochv i ruslovyje protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. FGBOU MGU: 272–294.
- Church M., Ferguson R.I. 2015. Morphodynamics: Rivers Beyond Steady State. *Water Resources Research*, 51(4): 1883–1897. <https://doi.org/10.1002/2014WR016862>.
- Guo X., Chen D., Parker G. 2019. Flow Directionality of Pristine Meandering Rivers is Embedded in the Skewing of High-Amplitude Bends and Neck Cutoffs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47): 23448–23454. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910874116>.
- Monegaglia F., Tubino M., Zolezzi G. 2019. Interaction Between Curvature-Driven Width Oscillations and Channel Curvature in Evolving Meander Bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 876: 985–1017. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.574>.
- Zhao K., Lanzoni S., Gong Z., Coco G. 2021. A Numerical Model of Bank Collapse and River Meandering. *Geophysical Research Letters*, 48(12): e2021GL093516. <https://doi.org/10.1029/2021GL093516>.

*Поступила в редакцию 01.10.2023;*

*поступила после рецензирования 08.11.2023;*

*принята к публикации 22.11.2023*

*Received October 01, 2023;*

*Revised November 08, 2023;*

*Accepted November 22, 2023*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Безгодова Ольга Витальевна**, младший научный сотрудник лаборатории геоморфологии, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Olga V. Bezgodova**, Junior Researcher, Laboratory of Geomorphology of Institute of Geography Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia