

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ И ГИДРОХИМИЯ HYDROLOGY OF LAND AND HYDROCHEMISTRY

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-174-184>

УДК 556.536(282.256.21)



Использование теории ландшафтоведения для оценки распространения различных типов речных русел на территории Арктической зоны Российской Федерации

А.И. Баскакова✉

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

✉priem@ggi.nw.ru

АИБ, 0009-0007-1713-3044

Аннотация. В статье представлена оценка распределения типов русел рек в однородных ландшафтных районах Арктической зоны Российской Федерации, расположенных в различных мерзлотных условиях. Впервые составлена схема распределения типов речных русел для средних рек районов Арктической зоны Российской Федерации, основанная на типизации, разработанной для условий многолетней мерзлоты. Анализ показал, что для тундровых ландшафтов характерно большее распространение неограниченных аллювиальных рек, по сравнению с таежными ландшафтами. Также отмечается низкая доля орографических меженных русел в условиях сплошной мерзлоты. Орографические паводочные русла не характерны для ландшафтов восточноевропейских групп и встречаются в сибирских группах ландшафтов, что объясняется совокупностью влияния ограничивающих условий и типов мерзлоты. Отмечается рост ограниченных аллювиальных русел от арктундровых ландшафтов к ландшафтам таежных групп. В результате оценки показано, что на типы речных русел оказывает влияние мерзлота, определяя характер руслоформирования в регионе.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, гидроморфологическая теория, меандрирование, многолетняя мерзлота, русловедение, русловой процесс

Для цитирования: Баскакова А.И. Использование теории ландшафтоведения для оценки распространения различных типов речных русел на территории Арктической зоны Российской Федерации. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2024;70(2):174–184. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-174-184>

Поступила 02.04.2024

После переработки 08.04.2024

Принята 17.05.2024

Using the theory of landscape studies to assess the distribution of different types of riverbeds in the Arctic zone

Anastasiya I. Baskakova✉

State Hydrometeorological Institute, St. Petersburg, Russia

✉priem@ggi.nw.ru

IAIB, 0009-0007-1713-3044

Abstract. The paper presents an assessment of the distribution of riverbed types in homogeneous landscape areas of the Arctic zone located in various permafrost conditions. The Arctic territories of the Komi Republic, the Nenets Autonomous Okrug, Yakutia, the Krasnoyarsk Territory and the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug are considered. For the first time, a distribution scheme of riverbed types for the middle rivers of the Russian Arctic regions has been compiled, based on a typification developed for permafrost conditions. The analysis showed that tundra landscapes are characterized by a greater distribution of unlimited alluvial rivers, compared with taiga landscapes. There is also a low proportion of orographic low-flows channels in permafrost conditions. Orographic flood channels are not typical of landscapes of Eastern European groups and are found in Siberian landscape groups, which is explained by the combined influence of limiting conditions and types of permafrost. There is an increase in limited alluvial channels from Arctic tundra landscapes to landscapes to those of taiga groups. As a result of the assessment, it is shown that the shape of riverbeds is influenced by permafrost, determining the nature of riverbed formation in the region.

Keywords: Arctic zone, channel process, channel science, hydromorphological theory, meandering, permafrost

For citation: Baskakova A.I. Using the theory of landscape studies to assess the distribution of different types of riverbeds in the Arctic zone. *Arctic and Antarctic Research*. 2024;70(2):174–184. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-174-184>

Received 02.04.2024

Revised 08.04.2024

Accepted 17.05.2024

Введение

При проведении на территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) хозяйственных мероприятий в рамках оценки русловых процессов важно грамотно учитывать динамику речных преобразований.

Форма русловых макроформ является продуктом локальных условий, и в различных регионах русловые формы и русловой рельеф создают закономерные сочетания, благодаря которым типы речных русел имеют определенную зональность. На реки региона также оказывает уникальное влияние многолетняя мерзлота, имеющая неравномерное распространение. Развитие представлений о зональных особенностях, влияющих на речные русла, необходимо для понимания особенностей руслоформирования в регионе Арктической зоны и дальнейшего освоения региона.

Карты типов русловых процессов территорий Арктической зоны ранее публиковались в Ресурсах поверхностных вод СССР¹.

Широко известна карта русловых процессов на реках СССР, составленная МГУ в 1989 г. и показывающая типы русловых процессов преимущественно на крупных реках. Также в ВСН 163-83 и СТО ГУ ГПИ 08.29-2009 публиковались схемы распределения основных типов русловых процессов, основанные на гидроморфоло-

¹ Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 663 с.; Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Лено-Инди́гирский район. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 645 с.

гической типизации. Специалистами МГУ публиковалась схема распространения морфодинамических типов русел больших рек для территории Севера Европейской территории России (ЕТР) [4]. Русловой процесс на реках полуострова Ямал изучался ранее в работах [5, 6], а также в работах В.А. Савицкого². Ф.Э. Арэ занимался изучением динамики береговых форм в условиях многолетней мерзлоты [7, 8]. Однако слабо изучена взаимосвязь между ландшафтами и типами русел рек, а также влияние многолетней мерзлоты на русловые типы.

В зарубежной практике вопросами форм речных русел занимались специалисты Геологической службы США [9, 10], в последние годы зарубежными специалистами публикуется особенно много работ, в которых изучаются русловые процессы рек на территории многолетней мерзлоты в условиях изменения климата [11, 12]. Современная оценка влияния многолетнемерзлых грунтов на форму меандрирующих рек описана в [12]. На тему оценки скоростей русловых деформаций, в том числе в условиях многолетней мерзлоты, за последние годы также опубликовано множество работ [13–15].

Целью настоящей статьи является оценка влияния различных ландшафтных районов и мерзлотных условий на типы речных русел АЗРФ и их распределение.

Исходные данные и методики исследований

В качестве объекта исследований выбраны материковые территории 5 регионов Арктической зоны — Ненецкий автономный округ (НАО), Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), арктические территории Республики Коми, Красноярского края и Якутии.

Особенность рассматриваемых регионов — повсеместное распространение многолетнемерзлых пород (ММП), с общим увеличением глубины промерзания с запада на восток и с севера на юг. Для рассматриваемых территорий сплошная мерзлота характерна для Якутии, полуострова Таймыр и северо-восточной половины Эвенкийского района. Мерзлота с тальми грунтами распространена в ЯНАО, на север от широты устья Оби и на северо-восточной половине НАО. Южнее на территории распространена мерзлота островного характера.

В основу выделения однородных районов положено районирование, представленное в трудах А.Г. Исаченко и А.А. Шляпникова [17, 18], базирующееся на ландшафтно-географическом подходе.

Выделенные ландшафтные группы расположены в различных мерзлотных условиях. На территориях восточноевропейских лесотундровых и северотаежных ландшафтов, а также западносибирских северотаежных ландшафтов мерзлота имеет неустойчивый характер и распространена не повсеместно. Северные тундровые ландшафты распространены в зоне сплошной мерзлоты (на восток от Ямала) и мерзлоты с тальми грунтами (Ямал, северо-восток НАО), сибирские лесотундровые и восточносибирские северотаежные ландшафты расположены в зоне сплошной мерзлоты.

В рамках настоящей работы для оценки распределения различных типов русел рек был произведен анализ русел средних рек Арктической зоны. Средние реки — реки с площадью водосбора от 2000 км² до 50000 км², протекающие в одной гидрографической зоне и наилучшим образом способные описать условия района,

² В.А. Савицкий. Плановые деформации свободно меандрирующих рек Ямала. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. СПб.: 1996. 24 с.

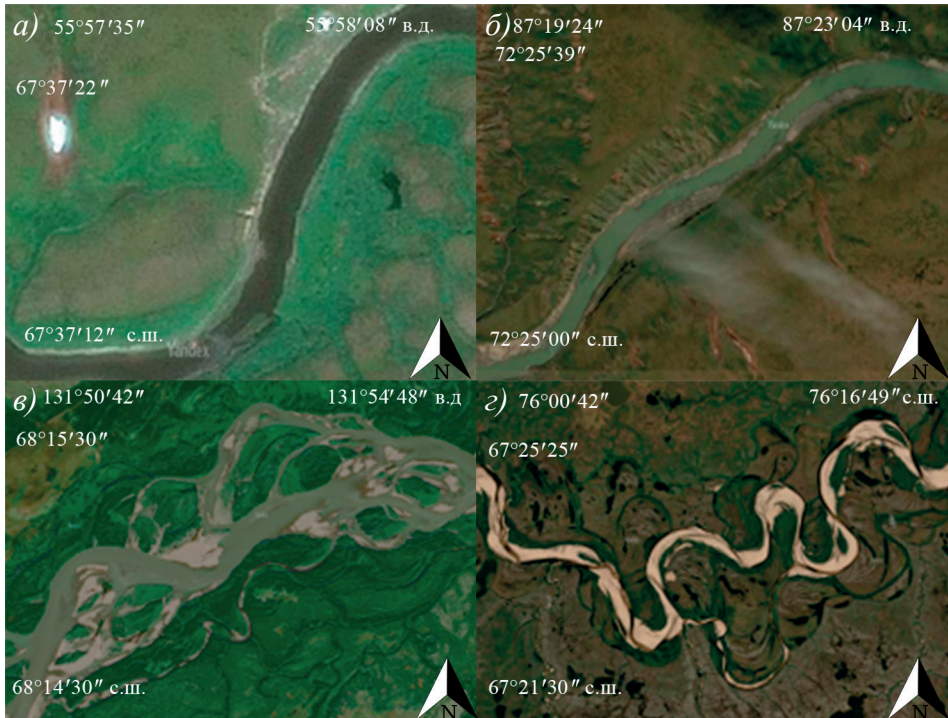


Рис. 1. Гидроморфологические типы речных русел:

а — орографическое меженное русло; б — орографическое паводочное русло; в — русло с поймой с ограничивающим влиянием склонов долины; з — русло с неограниченным развитием пойменных массивов

Fig. 1. Hydromorphological types of river channels:

а — orographic low-water channel; б — orographic flood channel; в — channel with a floodplain with the limiting influence of the valley slopes; з — channel with unlimited development of floodplain areas

поскольку, в отличие от малых рек, они меньше подвержены влиянию местных факторов и, в отличие от больших рек, отражают морфологические условия конкретного района без учета внешнего влияния на их режим.

Типы речных русел определены в соответствии с гидроморфологической типизацией речных русел в районе распространения многолетнемерзлых грунтов, опубликованной в СП 493.1325800.2020, Приложение Л, Таблица Л.1 (рис. 1). Данная классификация является развитием гидроморфологической теории руслового процесса, разработанной сотрудниками Государственного гидрологического института, с учетом орографических типов речных русел, широко распространенных на территории Арктической зоны РФ. Согласно данной классификации, тип речного русла создает условия для развития определенных русловых процессов.

В соответствии с принятой классификацией, к орографическим меженным руслам относятся русла, форма которых полностью зависит от формы долины в маловодный период года. Для русел данного типа не характерна пойма, русловые процессы полностью зависят от переформирований окружающих ландшафтов и не зависят от деятельности самой реки.

Орографические паводочные русла приобретают форму окружающего рельефа только в многоводную фазу водности, форма русла в меженный период формируется благодаря деятельности самого потока и зависит от мезоформ (побочней, крупных грядобразных скоплений [2, с. 22]), сложенных наносами. Русловые процессы в данных руслах протекают по ленточно-грядовому, побочному и осередковому типам.

Русла с поймой с ограничивающим влиянием склонов долины обладают простейшей аллювиальной поймой, развивающейся в условиях ограничивающего влияния склонов долины. Однорукавные русла развиваются по типу руслового процесса «ограниченное меандрирование», развитие многорукавных русел происходит по типу руслового процесса «русловая многорукавность».

Русла с неограниченным развитием пойменных массивов формируются в условиях большого скопления аллювия вне влияния ограничений склонов долины. Для русел данного типа русловые процессы протекают по сценарию свободного меандрирования для однорукавных русел и по типу пойменной многорукавности для разветвленных русел.

Типизация речных русел, изложенная в СП 493.1325800.2020, таблица Л.1, также включает орографические типы русел, расположенные в унаследованных аллювиальных отложениях и сформированные на заболоченном дне долины. В данной работе они не рассматриваются, так как в процессе определения типов речных русел для изучаемых рек данные типы не были обнаружены.

Классифицирование типов речных русел произведено с использованием космических снимков. Для определения типов русел использованы данные гибридных снимков Google и Яндекс с минимальным разрешением 1 пиксель на 30 м. Определение типов речных русел произведено для 169 рек с общей протяженностью исследуемых участков 43868 км.

Результаты и обсуждение

Для оценки распространения различных гидроморфологических типов речных русел составлена карта-схема для изучаемой территории Арктической зоны РФ, представленная на рис. 2.

Цветовым фоном отображены ландшафтные районы, соответствующие группам: тундровой и лесотундровой (см. рис. 2, № 1–5) и таежной (см. рис. 2, № 6–11). Цветными полилиниями показаны типы русел изучаемых средних рек.

Тундровые и лесотундровые ландшафты характерны для северных территорий материковой части России: территории Ненецкого АО и северной части Республики Коми, полуостровов Ямал, Гыдан и Таймыр, а также территории Красноярского края севернее 66–68° с. ш. и севера Якутии. Им присущи распространение поверхностных льдов, слабая теплообеспеченность и тундровая растительность.

Речная сеть здесь достаточно развита и представлена малыми и средними реками, устьями больших рек, а также термокарстовыми озерами, образованными в результате просадки грунта.

Режим стока наносов, определяющих русловые формы, зависит от динамики промерзания-оттаивания многолетнемерзлых пород, различной для мерзлоты разных типов. При малых периодах оттаивания продолжительность вымывания аллювия из русла ограничена. Одновременно с этим мерзлотные породы в условиях достаточного увлажнения обладают текучими свойствами, влияя на выравнивание рельефа

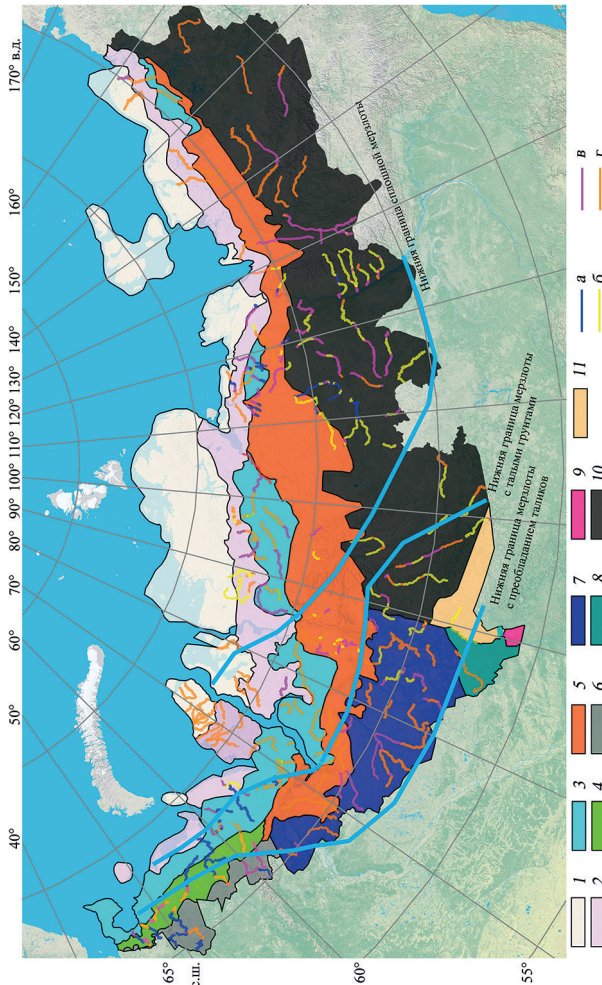


Рис. 2. Карта распространения гидроморфологических типов русел средних рек на территориях ландшафтных районов в границах исследуемых районов Арктической зоны РФ.

a — орографические межречные русла; *b* — русла с поймой с ограничивающим влиянием склонов долины; *c* — русла с неограниченным развитием пойменных массивов; *d* — арктундровые ландшафты; *e* — европейские и сибирские типичные тундровые ландшафты; *f* — европейские и сибирские южные тундровые ландшафты; *g* — восточноевропейские лесотундровые ландшафты; *1* — восточноевропейские лесотундровые ландшафты; *2* — европейские и сибирские лесотундровые ландшафты; *3* — европейские и сибирские лесотундровые ландшафты; *4* — восточноевропейские лесотундровые ландшафты; *5* — сибирские лесотундровые ландшафты; *6* — восточноевропейские лесотундровые ландшафты; *7* — западносибирские северотаежные ландшафты; *8* — западносибирские северотаежные ландшафты; *9* — западносибирские северотаежные ландшафты; *10* — восточносибирские северотаежные ландшафты; *11* — восточносибирские северотаежные ландшафты

Fig. 2. A map of the distribution of hydromorphological types of medium-sized riverbeds in the territories of homogeneous landscape areas within the boundaries of the areas of the Russian Arctic zone studied

a — orographic low-flows channels; *b* — floodplain channels with limiting influence of valley slopes; *c* — riverbed with unlimited development of floodplain massifs; *d* — Arctic tundra landscapes; *e* — European and Siberian typical tundra landscapes; *f* — European and Siberian forest tundra landscapes; *1* — Arctic tundra landscapes; *2* — European and Siberian typical tundra landscapes; *3* — European and Siberian forest tundra landscapes; *4* — Eastern European forest tundra landscapes; *5* — Siberian forest tundra landscapes; *6* — North Taiga East Siberian landscapes; *7* — North Taiga West Siberian landscapes; *8* — Middle Taiga West Siberian landscapes; *9* — South Taiga West Siberian landscapes; *10* — North Taiga East Siberian landscapes; *11* — Middle Taiga East Siberian landscapes.

территории. В условиях низменных равнинных ландшафтов с малыми уклонами, характерных для тундровой части Арктической зоны, создаются условия для накопления наносов.

Соответственно, в условиях малого распространения мерзлоты наблюдается обратная картина. Свойства мерзлотных грунтов в зоне несплошной мерзлоты ослабевают, отдавая главенствующую роль в руслоформировании орографии.

Типы русел в границах однородных ландшафтов распространены неравномерно. При оценке рис. 2 стоит отметить низкую долю неограниченных русел и преобладание русел орографического меженного типа на территории ЕТР, преобладание неограниченных русел на территории полуострова Ямал и арктундровых ландшафтов в целом, а также выраженную группу орографических паводочных русел и распространение аллювиальных русел в условиях ограничения склонов долины на территории Гыданского полуострова.

В целом для территории распространения тундровых и лесотундровых ландшафтов характерно преобладание русел, сформированных вне распространения ограничивающих условий (табл. 1). Исключением выступают русла рек, протекающих в восточноевропейских лесотундровых ландшафтах, здесь преобладают орографические меженные русла, доля которых составила 48 %.

Таблица 1

**Распределение гидроморфологических типов речных русел
на территории тундровых и лесотундровых ландшафтов, в % от общего числа**

Table 1

**Distribution of hydromorphological types of river channels
in the tundra and forest-tundra landscapes, as a percentage of the total**

Тип ландшафта	Общая длина русел, км	Тип русла, в % от общего числа			
		Орографическое меженное	Орографическое паводочное	Русла с аллювиальной поймой с ограничивающим влиянием склонов долины	Русло с аллювиальными поймами вне ограничивающих факторов
Арктундровые	2992	1	5	4	90
Европейские и сибирские тундровые	5534	3	12	10	75
Европейские и сибирские южные тундровые	6617	5	3	13	79
Восточноевропейские лесотундровые	3051	48	0	20	32
Сибирские лесотундровые	7219	5	12	20	63

С продвижением от северных районов к южным в границах лесотундровых ландшафтов наблюдается общий рост доли типов русел «орографические паводочные» и «русла с поймами в условиях ограничения склонами долины», за исключением территории восточноевропейских лесотундровых ландшафтов, для которых доля орографических паводочных русел составила менее 1 % при значительной доле аллювиальных ограниченных русел (20 %) (табл. 1).

Таежные и подтаежные ландшафты распространены вдоль южной границы Арктической зоны. Для тайги характерна сезонная контрастность температур с длительной зимой и умеренным теплым летом и избыточное увлажнение. На территории данных ландшафтов, в отличие от тундровых и лесотундровых ландшафтов, нет преобладающего типа речных русел (табл. 2).

Как и на тундровых территориях, типы речных русел в тайге весьма разнообразны. В целом отмечается увеличение доли неограниченных русел с запада на восток.

Территории таежных ландшафтов в меньшей степени подвержены влиянию океана, практически повсеместно расположены в зоне резко континентального климата и недостаточно увлажнены. Ввиду малого увлажнения многолетнемерзлые породы обладают меньшей пластичностью, что выражается в большем влиянии орографии на руслоформирование.

Таблица 2

Распределение гидроморфологических типов речных русел на территории таежных и подтаежных ландшафтов, в % от общего числа

Table 2

Distribution of hydromorphological types of river channels in the territory of taiga and subtaiga landscapes, as a percentage of the total

Тип ландшафта	Общая длина русел, км	Тип русла, в % от общего числа			
		Орографическое межечное	Орографическое паводочное	Русла с аллювиальной поймой с ограничивающим влиянием склонов долины	Русло с аллювиальными поймами вне ограничивающих факторов
Восточноевропейские северотаежные	1227	51	0	29	20
Западносибирские северотаежные	6065	1	10	29	60
Восточносибирские северотаежные	11635	5	39	27	29

Примечание. Гидрография западносибирских и восточносибирских среднетаежных ландшафтов включает по 2 % участков рек по протяженности от общего числа. Средние реки на территории западносибирских южнотаежных ландшафтов отсутствуют. Распределение типов речных русел в данных группах ландшафтов далее не оценивается ввиду малой протяженности русел рек.

Note. The hydrography of West Siberian and East Siberian Middle Taiga landscapes includes 2% of the river sections by length of the total number. There are no middle rivers on the territory of Western Siberian southern taiga landscapes. The distribution of riverbed types in these landscape groups is not further evaluated due to the small length of the riverbeds.

На территориях распространения восточноевропейских северотаежных ландшафтов отмечается наибольшее распространение орографических меженных русел, их доля составила 51 %. Доля орографических паводочных русел на данных ландшафтах не превышает 1 %.

Восточнее Урала на территории восточносибирских северотаежных районов, в отличие от аналогичных европейских ландшафтов, отмечается понижение доли орографических меженных русел, развивающихся в условиях узкой долины. Для данных территорий наиболее характерно развитие орографических паводочных русел, доля которых составляет 39 %. Доли ограниченных и неограниченных аллювиальных русел примерно равны и составляют 27 % и 29 % соответственно.

На западносибирских северотаежных ландшафтах, простирающихся на юге ЯНАО и охватывающих низовья Оби и Енисея, отмечается слабое влияние орографии на руслоформирование. Наиболее высокая доля отмечается у неограниченных типов русел — 60 %. Аллювиальные ограниченные русла составляют 29 % от общего числа. Доля орографических паводочных русел на рассматриваемых ландшафтах составляет 10 %, орографические меженные русла практически не встречаются и составляют 1 %.

Заключение

В настоящей статье представлены результаты анализа гидроморфологических типов русел средних рек, протекающих на территории Ненецкого АО, Республики Коми, ЯНАО, Красноярского края и Якутии в границах Арктической зоны РФ.

Анализ показал, что:

– Для тундровых ландшафтов, по сравнению с таежными ландшафтами, отмечается большее распространение русел рек, формирующихся в собственных аллювиальных отложениях вне влияния орографии. Также отмечено, что доля указанных русел возрастает с продвижением на север. Это можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, северные тундровые территории занимают преимущественно равнины, на которых орография слабо развита. Во-вторых, это можно объяснить с точки зрения благоприятных условий для накопления наносов в руслах северных тундровых рек. Благодаря суровым климатическим условиям и распространению сплошной мерзлоты и мерзлоты с талыми грунтами в непродолжительный период оттаивания ММП, в период половодья в речные русла приходит большое количество наносов, которые не успевают пройти вниз по течению и задерживаются в речной долине в последующий период межени.

– Сравнительно мала доля орографических меженных русел в зонах распространения сплошной мерзлоты. Наиболее широкое распространение орографических русел отмечается в восточноевропейских лесотундровых ландшафтах (48 %) и восточноевропейских северотаежных ландшафтах (51 %), распространенных на территории ЕТР в зоне несплошной мерзлоты. Это можно объяснить тем, что при отсутствии сплошной мерзлоты условия для задержки твердого стока отсутствуют и наносы не успевают создать мезо- и макроформы, проходя транзитом до впадения реки в море.

– Орографические паводочные русла не характерны для восточноевропейских лесотундровых ландшафтов и восточноевропейских северотаежных ландшафтов, для обеих групп ландшафтов их доля не превышает 1 %. При этом орографические паводочные русла распространены в таежных сибирских ландшафтах, являясь преобладающим типом для восточносибирских таежных ландшафтов. Эта тенденция объясняется совокупным влиянием мерзлоты и ограничивающих условий на формы русел рек.

В отличие от аналогичных долин на Европейской территории, в сибирских долинах территории сплошной мерзлоты созданы условия для накопления наносов.

– Отмечается тенденция к росту доли аллювиальных ограниченных русел от арктундровых ландшафтов до среднетаежных ландшафтов. Руслу рек данного типа встречаются повсеместно на всех ландшафтных группах.

Анализ распространения типов речных русел в различных ландшафтных и мерзлотных районах показал, что в Арктической зоне на тип речного русла оказывают определяющее совокупное влияние мерзлотные условия и орография, которые обуславливают руслоформирование и режим наносов. Показано, что учет характера мерзлоты необходим при дальнейшей оценке русел рек региона.

Конфликт интересов. Автор статьи заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в период обучения в аспирантуре Государственного гидрологического института.

Благодарности. Автор выражает благодарность Н.И. Горошковой за ценные советы об особенностях криолитозоны, Д.И. Исаеву за предложенную методику полигонов для определения характерных параметров речных излучин, а также научному руководителю В.М. Католикову за ценные советы в области русловых процессов. Также автор выражает благодарность рецензентам и редакционной коллегии журнала Проблемы Арктики и Антарктики, которые внесли большой вклад в создание настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare no conflict of interests.

Funding. The work was carried out during postgraduate studies at the State Hydrological Institute.

Acknowledgments. The author expresses gratitude to N.I. Goroshkova for valuable advice on the features of the permafrost zone, D.I. Isaev for the proposed method of polygons for determining the characteristic parameters of river bends and, last but not least, to the research supervisor V.M. Katolikov for valuable advice in the field of channel processes. The author also expresses gratitude to the reviewers and the editorial board of the journal Arctic and Antarctic Research, who made a great contribution to the publication of this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Noe G., Hopkins K., Claggett P., Schenk E., Metes M., Ahmed L., Doody T., Hupp C. Streambank and floodplain geomorphic change and contribution to watershed material budgets. *Environmental research letters*. 2022;17(6):064015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6e47>
2. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисченко Б.Ф. *Основы гидроморфологической теории руслового процесса*. Л.: Гидрометеиздат; 1982. 272 с.
3. Попов И. В. *Методологические основы гидроморфологической теории руслового процесса. Избранные труды*. СПб.: Нестор-История; 2012. 304 с.
4. Львовская Е.А., Чалов Р.С. Морфодинамика русел больших рек Севера ЕТР и прогнозные оценки ее изменений. *Геоморфология*. 2018;3:3–23. <https://doi.org/10.7868/S043542811803001X>
Lvovskaya E.A., Chalov R.S. River channel hydromorphology in the northern part of the European territory of Russia and prognostic evaluation of their changes. *Geomorfologiya*. 2018;(3):3–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S043542811803001X>
5. Исаев Д.И., Иванова О.И., Баскакова А.И. Методика описания речных излучин (на примере рек Ямала). *Гидрометеорология и экология*. 2021;63:227–235. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2021-63-227-235>

- Isaev D.I., Ivanova O.I., Baskakova A.I. Procedure for describing river meanders. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University)*. 2021;63:227–235. (In Russ.). <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2021-63-227-235>
6. Исаев Д. И. Русловой процесс рек Ямала. В сборнике: *География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. Т.1*. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена; 2021:258–261.
 7. Арэ Ф.Э. *Основы прогноза термоабразии берегов*. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение; 1985. 176 с.
 8. Арэ Ф.Э. Новые данные о динамике береговой зоны западного побережья дельты реки Лены. В: *Материалы международной конференции «Криосфера Земли как среда жизнеобеспечения»*. Пушино-на-Оке: Пушинский научный центр РАН; 2003. С. 234–235.
 9. Leopold L., Wolman M. River meanders. *Bulletin of the Geological Society of America*. 1960;71:769–794.
 10. Langbein W., Leopold L. River meanders — Theory of minimum variance. *Geological Survey Professional Paper 422-H*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing office; 1966. 422H: H1–H15. <https://doi.org/10.3133/pp422H>
 11. Treat C., Jones M., Alder J., Frolking S. Hydrologic controls on peat permafrost and carbon processes: new insights from past and future modeling. *Frontiers Environmental Science*. 2022;10:892925. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.892925>
 12. Levy J., Cvijanovic B. Meandering river evolution in an unvegetated permafrost environment. *Geomorphology*. 2023;432:108705 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108705>
 13. Rowland J.C., Schwenk J.P., Shelef E., Muss J., Ahrens D., Stauffer S., Pilliouras A., Crosby B., Chadwick A., Douglas M.M., Kemeny P.C., Lamb M.P., Li G.K., Vulis L. Scale-dependent influence of permafrost on riverbank erosion rates. *JGR Earth Surface*. 2023;128(7): e2023JF007101. <https://doi.org/10.1029/2023JF007101>
 14. Douglas M.M., Miller K.L., Schmeer M.N., Lamb M.P. Ablation-limited erosion rates of permafrost riverbanks. *JGR Earth Surface*. 2023;128(8):e2023JF007098. <https://doi.org/10.1029/2023JF007098>
 15. Langhorst T., Pavelsky T. Global observations of riverbank erosion and accretion from landsat imagery. *JGR Earth Surface*. 2023;128(2): e2022JF006774. <https://doi.org/10.1029/2022JF006774>
 16. Раковская Э. М., Давыдова М. И. *Физическая география России. Часть 1. Общий обзор. Европейская часть и островная Арктика*. М.: Владос; 2001. 288 с.
 17. Исаченко А. Г. Глобальная система ландшафтных макрорегионов. *Известия Русского географического общества*. 2007;139(1):3–18.
 18. Исаченко А. Г., Шляпников А. А. *Природа мира: Ландшафты*. М.: Мысль; 1989. 504 с.