

## Определение параметров меандрирования на участке русла реки Жиздры в Калужской области средствами ГИС-технологий

М. В. Захарова<sup>1</sup>, Р. Р. Шошина<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup>Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского, Российская Федерация  
(248023, г. Калуга, ул. Степана Разина, 26)

<sup>2</sup>ООО фирма «Экоаналитика», Российская Федерация  
(248033, г. Калуга, ул. Академическая, 8)

**Аннотация.** Цель – исследование параметров динамики смещения береговой линии реки Жиздра на участке свободного меандрирования русла в районе с. Ильинское Перемышльского района Калужской области.

**Материалы и методы.** Для определения параметров меандрирования и оценки скорости перемещения участка берега реки Жиздры использованы топографическая карта листа N-37-49 1988 года съемки, и спутниковая карта ESRI, демонстрирующие состояние местности на 2020 год. По результатам сравнительного анализа карт средствами геоинформационной системы QGIS сделаны выводы о состоянии развития меандрирования на исследуемом участке.

**Результаты и обсуждение.** Инструментами анализа QGIS выполнена оцифровка положения рассматриваемой излучины, вычислительными инструментами определены линейные и угловые морфологические параметры свободного меандрирования, рассчитана средняя скорость размыва берегов (2,29 м/год). Установлено, что за исследуемый период степень развитости свободной излучины увеличилась на 8,6 м (0,26 м/год), шаг излучины и радиус кривизны уменьшились на 120,45 м (-3,76 м/год) и 16,93 м (-0,53 м/год), стрела прогиба и длина излучины увеличились на 117,00 м (3,66 м/год) и 169,93 м (5,31 м/год).

**Выводы.** В современное время излучина морфодинамически развивается по петлеобразному (синусоидальному) типу, характеризуется высокой степенью крутости и находится в завершающем цикле своего развития. При сохранении текущей скорости размыва берегов излучины в течение 30-ти лет произойдет выпрямление русла реки Жиздры и образование пойменной старицы. Данный участок можно классифицировать как относительно устойчивый с умеренной степенью опасности русловых процессов (2 балла).

**Ключевые слова:** река, свободное меандрирование, русловые деформации, размыв берега, параметры русловых процессов, геоинформационная система.

**Источник финансирования:** Работа выполнена в рамках действия положения о Научно-образовательном консорциуме Института естествознания Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского, Союза «Торгово-промышленная палата Калужской области» и ООО фирма «Экоаналитика» от 28.09.2021 г.

**Для цитирования:** Захарова М. В., Шошина Р. Р. Определение параметров меандрирования на участке русла р. Жиздры в Калужской области средствами ГИС-технологий // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 4, с. 90-97. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/90-97>

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что русловые процессы относятся к динамично развивающимся геоморфологическим процессам, поскольку при переходе от одной стадии эволюции форм русел и руслового рельефа к другой активно изменяют окружающие природ-

ные ландшафты, создавая экологическую напряжённость и опасность для хозяйственной деятельности человека на берегах рек. В то же время речные русла и поймы неустойчивы к внешнему антропогенному воздействию, быстро и остро реагируют на него, и эта реакция может привести

© Захарова М. В., Шошина Р. Р., 2023

✉ Шошина Регина Ринатовна, e-mail: [rerish@inbox.ru](mailto:rerish@inbox.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

к риску возникновения чрезвычайных ситуаций, усложнить использование водных ресурсов и освоение пойменных территорий [4, 10].

Одной из важных задач государственного мониторинга поверхностных водных объектов является наблюдение за состоянием берегов, изменением береговой линии и положения русла водотоков [5]. Для оценки состояния и предотвращения негативных последствий в краткосрочной перспективе, в рамках государственного мониторинга проводятся натурные топографические измерения<sup>1</sup>. Однако для корректного прогнозирования негативных русловых процессов и их последствий для объектов инженерной инфраструктуры, и планирования хозяйственной деятельности наряду с натурными измерениями необходимо учитывать многолетние изменения показателей морфологических параметров русла, определенных картографическим методом за длительный период времени.

Цель исследования – установить параметры динамики смещения береговой линии реки Жиздра на участке свободного меандрирования русла в районе с. Ильинское Перемышльского района Калужской области картографическим методом.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Географически бассейн реки Жиздры занимает почти полностью юго-западную часть Калужской области, характеризуется асимметричной, грушевидной формой. Площадь бассейна реки Жиздры составляет 9170 км<sup>2</sup>, длина реки – 233 км. Река Жиздра является левым притоком Оки и впадает в неё на 1158 км от её устья [7].

Общий облик речной долины Жиздры определяется литологическим составом горных пород, которые прорезает река. На исследуемом участке река прорезает рыхлые отложения, поэтому русло характеризуется широкой долиной и поймой, которая изобилует старицами, вдоль всего течения для русла свойственны умеренные или сильно извилистые деформации [2].

В качестве объекта для данного исследования выбран участок свободного меандрирования русла реки Жиздры в районе с. Ильинское Перемышльского района Калужской области.

Очевидно, что здесь наблюдается завершающий цикл развития излучины, при котором русло уже прошло последовательные стадии развития

от слабоизогнутого состояния до ярко выраженного петлеобразного и находится в состоянии, близком к прорыву перешейка излучины, что приведет к скорому отчленению изгиба русла реки и образованию старицы.

Таким образом, на основании сравнительного визуального анализа плановых картографических материалов можно утверждать, что по классификации ГГИ на исследуемом участке реки развивается свободное меандрирование, которое количественно может быть охарактеризовано следующими морфологическими параметрами (измерителями руслового процесса) [1, 8, 9]:

– *линейными*: 1) расстоянием по прямой между двумя точками перегиба осевой линии русла, т.е. шагом излучины  $\lambda_n$  (м); 2) расстоянием между теми же точками, измеренной по осевой линии русла, т.е. длиной излучины  $S_n$  (м); 3) относительной длиной излучины  $\lambda_n / S_n$ ; 4) стрелой прогиба излучины  $h$  (м), получаемой путем построения перпендикуляра, проведенного от оси пояса меандрирования к вершине излучины; 5) соотношения стрелы прогиба к шагу излучины  $h / \lambda_n$ ; 6) стрелой «завала» излучины  $h^*$ , равной расстоянию от середины отрезка, представляющего собой шаг излучины, до вершины излучины; 7) параметром асимметричности излучин  $h^* / h$ ; 8) радиусом кривизны излучины  $r$ , которым описывается кривая геометрической оси русла на большей части ее длины; 9) показателем формы излучины  $r / h$ , м;

– *угловыми*: 1) углом, образованным линией шага и вектором, направленным в сторону течения по касательной к осевой линии в верховой точке ее перегиба, т.н. углом входа  $\alpha_{вх}$ ; 2) углом, образованным продолжением линии шага и вектором, проходящим через низовую точку перегиба, т.н. углом выхода  $\alpha_{вых}$ ; 3) углом, образованным двумя перечисленными выше векторами и равным сумме углов входа и выхода, т.е. углом разворота  $\alpha_p = \alpha_{вх} + \alpha_{вых}$ ;

– *скоростью перемещения береговой линии*  $c_b$ , под которой понимается средняя скорость перемещения береговой линии, определенная для отдельного подмываемого участка, соответствующего одной излучине. Она определяется по выражению:

$$C_b = F / (L \cdot T), \quad (1)$$

где  $F$  – площадь размыва, м<sup>2</sup>;  $L$  – длина фронта размыва, м;  $T$  – период между съемками, год.

<sup>1</sup> Приказ Минприроды России от 08.10.2014 № 432 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей» (Зарегистрировано в Минюсте России 11.11.2014 № 34630)

Для определения перечисленных выше параметров меандрирования с целью оценки скорости перемещения исследуемого участка берега реки Жиздры использованы топографическая карта листа номенклатуры N-37-49 1988 года съемки и спутниковая карта Environmental Systems Research Institute (ESRI) Satellite, демонстрирующие состояние местности на 2020 год.

Картографическая задача по определению измерителей свободного меандрирования выполнена с помощью инструментов анализа, предлагаемого в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Географический анализ распространения русловых процессов, выполненный авторами [3], указывает на то, что у рек, протекающих южнее Москвы по Среднерусской возвышенности, к которым, относится Жиздра, имеются участки, относящиеся к умеренно опасным по русловым процессам. Опасность на них связана с интенсивным меандрированием русел, излучины которых находят-

ся на пике своего развития. Это также подтверждается гидрологическими работами по определению границ береговой линии, водоохранных зон и прибрежных защитных полос реки Жиздры, проведенными в 2020 году ООО «Калугаводпроект» [6].

Для выполнения поставленной задачи в геоинформационной системе QGIS создается проект, в который подгружаются спутниковая карта ESRI, сверху выполняется географическая привязка топографической карты номенклатурного листа N-37-49, которая для наилучшего отображения границ русла реки поверх спутниковой карты переводится в режим отображения «Умножение» (рис. 1).

Для оценки параметров свободного меандрирования в проекте QGIS создается временный линейный слой с оцифровкой положения речных меандров в 1988 и 2020 годах (рис. 2). В таблице атрибутов находятся значения шага и длина излучины, рассчитывается длина фронта размыва и другие параметры руслового процесса, а с помощью инструмента «Измерить углы» оцениваются углы входа в излучину и выхода из неё.

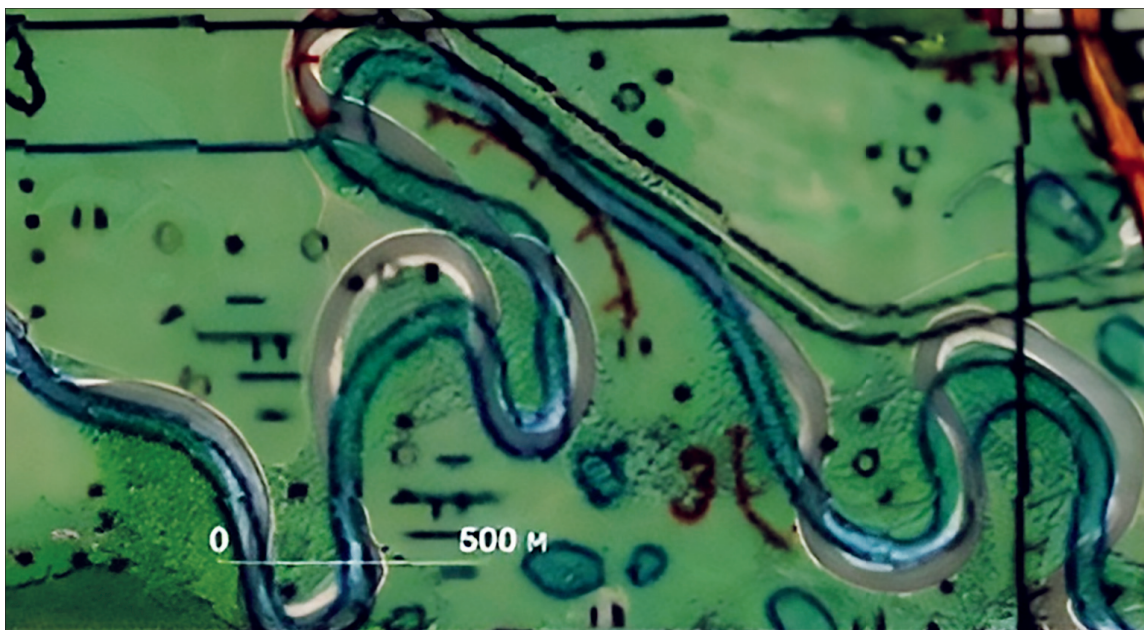


Рис. 1. Результат наложения топографической карты с исследуемой излучиной реки Жиздры на спутниковую карту ESRI

[Fig. 1. Result of superimposing a topographic map with the studied meander of the Zhizdra River on ESRI Satellite map]

Для того, чтобы оценить динамику смещения береговой линии реки Жиздры на участке свободного меандрирования русла, в проекте QGIS создается временный полигональный слой, в котором выполняется оцифровка участка размыва, а в таблице атрибутов подсчитывается площадь данного участка.

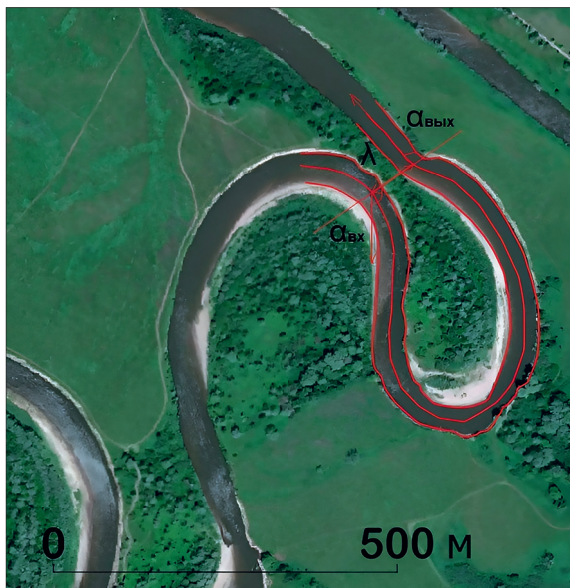
Результаты определения морфологических параметров свободного меандрирования исследуемого участка русла реки Жиздры приведены в таблице 1.

В соответствии с классификацией МГУ [8, 9] описываемую излучину можно отнести к свободному типу по морфогенетическим (геолого-геоморфо-

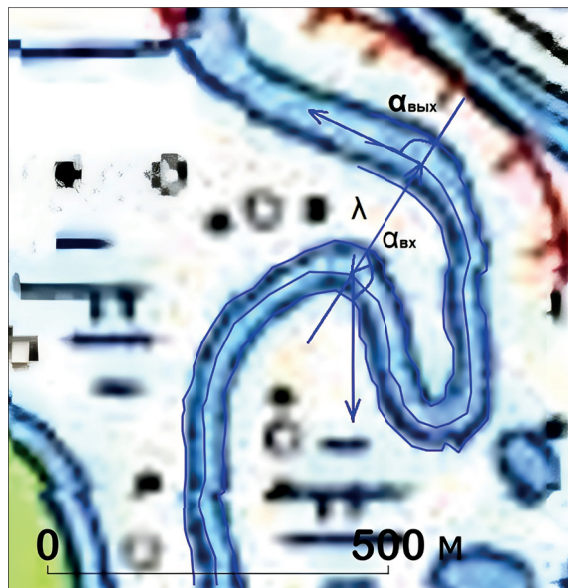


логическим) условиям формирования. В излучинах подобного типа наблюдается большое разнообразие их форм, а также преобладание горизонтальных русловых деформаций над вертикальными, в связи с чем происходит продольное и поперечное смещение

излучин, развитие процесса меандрирования. Наблюдаемый процесс размыва меандрирующей рекой пойменных берегов, сложенных легкоразмываемыми породами осадочного происхождения, приводит к постоянной трансформации формы излучины.



а) 2020 год  
а) 2020 year



б) 1988 год  
b) 1988 year

Рис. 2. Схема определения параметров свободного меандрирования в русле реки Жиздры [Fig. 2. Scheme for determining the parameters of free meandering in the Zhizdra River channel]

Таблица 1

Морфологические параметры свободного меандрирования участка русла реки Жиздры [Table 1. Morphological parameters of free meandering of a section of the Zhizdra River channel]

Параметры / Parameters	Топографическая карта (1988) / Topographic map (1988)	Спутниковая карта ESRI (2020) / ESRI Satellite map (2020)
Линейные:		
- шаг $\lambda_n$ , м	192,30	71,85
- длина $S_n$ , м	715,10	885,03
- относительная длина $S_n / \lambda_n$	3,72	12,32
- стрела прогиба $h$ , м	230,00	347,00
- отношение стрелы прогиба к шагу $h / \lambda_n$	1,20	4,83
- стрела завала $h^*$ , м	309,86	365,52
- параметр асимметричности $h^* / h_{cp}$	2,17	1,13
- радиус кривизны $r$ , м	179,00	162,07
- показатель формы $r / h$ , м	0,78	0,47
Угловые:		
- угол входа $\alpha_{вх}$ , °	147	123
- угол выхода $\alpha_{вых}$ , °	99	103
- угол разворота $\alpha_p$ , °	246	223
Скорость размыва берега $C_b$ , м/год	2,29	

На основании визуального анализа очертаний исследуемой излучины в плане и форме её смещения (деформаций) по материалам топографи-

ческой карты 1988 года и спутникового снимка за 2020 год можно сделать предположение, что данная излучина морфодинамически развивается

по петлеобразному типу [9]. Подобным излучинам присущи продольно-поперечные смещения, а их шпоры пережаты вдоль оси пояса меандрирования с образованием узкого перешейка между верхним и нижним крыльями.

Данную оценку подтверждают полученные в таблице 1 линейные параметры, которые по имеющейся степени развитости излучины, оцениваемой относительной длиной излучины  $S_n / \lambda_n > 1,4-1,7$  [8], дают возможным считать, что последние 30 лет происходит её преобразование в излучину сложной петлеобразной формы.

На основании полученного соотношения между такими морфологическими параметрами излучины, как стрела прогиба  $h$  и радиус кривизны излучины  $r$ , можно утверждать, что изучаемая излучина считается крутой, поскольку  $h > r$  (см. табл. 1), а её трансформация идет по петлеобразному (или синусоидальному) типу.

Как правило, при углах разворота более  $140^\circ$  развитие излучины завершается спрямлением русла в результате встречного размыва берегов выше и ниже расположения смежных излучин и прорыва образовавшейся между ними перемычки. Следует отметить, что за исследуемый временной интервал среднее значение степени развитости излучины  $S_n / \lambda_n$  составляет 8,02.

Авторы [9] считают, что в ходе развития излучин можно выделить три стадии сегментации, каждой из которых соответствует определенное значение степени развитости, форма смещения и интенсивность русловых деформаций. Установлено, что по степени развитости излучины  $S_n / \lambda_n$  вид излучины можно определить лишь на стадии сегментной развитой и крутой излучины, когда возможно образование спрямляющего протока и формирование прорванной излучины. В таком случае спрямление русла реки чаще всего происходит при относительной длине излучины  $S_n / \lambda_n > 3,50$ . Если спрямление сегментной излучины и образование прорванной излучины не происходит, то наблюдается трансформация её в омеговидную или синусоидальную излучину, как в исследуемом случае.

Очевидно, что исследуемая излучина находится на более поздней стадии развития ( $S_n / \lambda_n \gg 2,00$ ), поэтому для характеристики формы излучин соотношения между длиной  $S_n$  и шагом излучины  $\lambda_n$  уже недостаточно. В подобном случае для идентификации формы излучины рекомендуется использовать соотношение других морфологических параметров. В частности, предлагается использовать отношение стрелы прогиба  $h$  к шагу  $\lambda_n$ : при  $h/\lambda_n < 1,00$  прини-

мается, что излучина имеет омеговидную форму; при  $h/\lambda_n > 1,00$  – синусоидальную. Результаты оценки данного параметра для рассматриваемой излучины позволяют сделать вывод о синусоидальной форме излучины (см. табл. 1).

Кроме того, более достоверным признан анализ соотношения ещё одних морфологических параметров, а именно: стрелы прогиба  $h$  и длины излучины  $S_n$ . В таком случае соотношение  $S_n / h$  для излучины, описываемой по состоянию на 1988 год, составляет 3,1; по состоянию на 2020 год – 2,5, что по [9] подтверждает синусоидальный тип свободной излучины в 2020 году.

Отмечается, что наибольшие отличия в плановых очертаниях излучин наблюдаются на самых поздних стадиях развития излучин, когда омеговидные и синусоидальные излучины не достигают стадии крутых или трансформируются в так называемую, «заваленную» форму.

Такая форма развития излучины встречается в том случае, если интенсивность размыва берегов на верхнем и нижнем крыльях излучины оказывается неодинаковой или, по каким-либо причинам, на одном из них прекращается. Считается, что обязательным условием развития петлеобразной излучины является возникновение асимметрии в её плановых очертаниях в результате сдвига вершины излучины по отношению к центру геометрической оси.

В работе [9] по данным экспериментальных наблюдений на излучинах с четко выраженным смещением вершины вверх или вниз по течению относительно оси симметрии установлено, что значение параметра асимметричности, который предлагается в качестве граничного для выделения заваленных излучин, составляет  $h^*/h > 1,30$ . В отношении исследуемой излучины можно говорить о заваленном типе излучины по данным плановых очертаний топографической карты 1988 года, поскольку параметр, описывающий асимметричность излучины,  $h^*/h$  равен 2,17.

Сравнительный анализ скорости изменения морфологических параметров свободной излучины на исследуемом участке русла реки Жиздры представлен в таблице 2.

Таким образом, анализ данных таблицы 2 позволяет сделать вывод о том, что все параметры излучины относительно начальной стадии развития по знаку направленности изменения можно условно разделить на две группы: 1) к группе параметров, которые увеличились за последние 32 года, относятся стрела прогиба излучины  $h$  и её

Изменение параметров свободной излучины с 1988 по 2020 год (числитель, в метрах) и в среднем за год (знаменатель, м/год)  
 [Table 2. Change in the parameters of the free bend from 1988 to 2020 (numerator, in meters) and on average per year (denominator, m/year)]

$\lambda_n$	$S_n$	$h$	$r$
120,45	169,93	117,00	16,93
-3,76	5,31	3,66	-0,53

длина  $S_n$ ; можно отметить, что стрела прогиба  $h$  увеличилась в 1,5 раза, длина излучины возросла более чем в 1,2 раза; 2) вторая группа параметров, к которой относятся, прежде всего, шаг  $\lambda_n$  и радиус кривизны  $r$ , уменьшились. Шаг излучины уменьшился в 2,7 раза за счет продольного смещения излучины, а радиус кривизны – в 1,1 раза вследствие перехода от более пологой в 1988 году к более крутой сегментной форме в 2020 году за счет сближения крыльев излучины.

За исследуемый период времени параметр степени развитости свободной излучины увеличился на 8,6 м (0,26 м/год), шаг излучины и радиус кривизны уменьшились на 120,45 м (-3,76 м/год) и 16,93 м (-0,53 м/год), стрела прогиба и длина излучины увеличились на 117,00 м (3,66 м/год) и 169,93 м (5,31 м/год).

Таким образом, в соответствии с предложениями авторов [8, 9] в качестве основной геоморфологической модели эволюции рассматриваемой излучины можно принять схему последовательного перехода излучины из сегментной пологой в сегментную развитую и далее в сегментную крутую с последующей трансформацией её в синусоидальную излучину.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка русловых деформаций исследуемого участка реки Жиздры позволила установить основные морфологические параметры рассматриваемой излучины и сделать следующие выводы о её развитии: 1) в современное время излучина морфодинамически развивается по петлеобразному (синусоидальному) типу, характеризуется высокой степенью крутости и находится в завершающем цикле своего развития; 2) при сохранении текущей скорости размыва берегов излучины в течение 30-ти лет произойдет выпрямление русла реки Жиздры и образование пойменной старицы; 3) данный участок в соответствии с методикой [8] можно классифицировать как относительно устойчивый с умеренной степенью опасности русловых процессов (2 балла). Учёт направленности

установленных русловых процессов в речных бассейнах позволит обеспечить экологическую безопасность водных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников Н. Б., Исаев Д. И. *Русловые процессы: учебник*. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2014. 503 с.
2. *География Калужской области: учебное пособие* / К. В. Пашканг, С. Г. Любушкина, Н. Н. Родзевич и др. Тула: Приокское книжное издательство, 1989. 119 с.
3. География опасных проявлений русловых процессов на реках России / Р. С. Чалов, А. В. Чернов, К. М. Беркович, Н. М. Михайлова // *Известия Русского географического общества*, 2017, т. 149, вып. 4, с. 13-33.
4. Губарева Е. К., Чернов А. В. Геоэкологические аспекты русловых и пойменных процессов в бассейне реки Амур // *Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле*, 2015, т. 25, вып. 4, с. 107-115.
5. Динамика процессов руслоформирования и деформации берегов на участках свободного меандрирования основных притоков реки Оки в Калужской области / А. Д. Молодык, И. В. Маньшина, Р. Р. Шошина и др. // *Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов*, 2022, с. 16-18.
6. Столярский А. В. Русловые процессы на реке Жиздре // *Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов*, 2022, с. 19-21.
7. *Физическая география и природа Калужской области: учебное пособие* / О. И. Алейников, О. А. Епищев, Т. К. Петровская и др. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. 272 с.
8. Чалов Р. С. Параметризация русловых процессов для их прогнозных оценок и диагностики опасных проявлений // *Водные ресурсы*, 2017, т. 44, № 5, с. 551-562.
9. Чалов Р. С., Завадский А. С., Панин А. В. *Речные излучины*. Москва: Издательство МГУ, 2004. 371 с.
10. Чалов Р. С., Камышев А. А. Морфодинамика и гидроморфология речных русел как разделы учения о русловых процессах // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 2020, т. 84, № 6, с. 844-854.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 21.01.2023

Принята к публикации: 28.11.2023



## Determination of Meandering Parameters on a Section of the Zhizdra River Channel in the Kaluga Region Using GIS-technologies

M. V. Zakharova<sup>1</sup>, R. R. Shoshina<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, Russian Federation  
(26, Stepan Razin str., Kaluga, 248023)

<sup>2</sup>Limited Liability Company Firm «Ekoanalitika», Russian Federation  
(8, Akademicheskaya str., Kaluga, 248033)

**Abstract.** The purpose is to study the parameters of the dynamics of the displacement of the shoreline of the Zhizdra River in free meandering of the channel near the village of Il'inskoye, Peremyshl district in the Kaluga region.

**Materials and methods.** Topographic map of sheet N-37-49 of the 1988 survey, and the ESRI satellite map showing the state of the terrain for 2020 were used to determine the parameters of meandering and estimate the speed of movement of a section of the Zhizdra Riverbank. Conclusions about the development of meandering in the study section are made based on a comparative analysis of maps by means of the geoinformation system QGIS.

**Results and discussion.** Digitization of the position of the bend was done by QGIS analysis tools, linear and angular morphological parameters of free meandering were determined by computational tools, the average rate of shore cutting (2,29 m/year) was calculated too. It was found that the degree of development of the free bend during the study period increased by 8,6 m (0,26 m/year), the wave of the bend and the radius of curvature decreased by 120,45 m (-3,76 m/year) and 16,93 m (-0,53 m/year), the bending deflection and the length of the bend increased by 117,00 m (3,66 m/year) and 169,93 m (5,31 m/year).

**Conclusions.** In modern times, the bend morphodynamically develops in a loop-like (sinusoidal) type, is characterized by a high degree of steepness and is in the final cycle of its development. The straightening of the Zhizdra channel and the formation of floodplain oxbow will occur while maintaining the current rate of shore cutting of the bends for 30 years. This section can be classified as relatively stable with a moderate degree of danger of channel processes (2 points).

**Key words:** river, free meandering, channel deformations, shore cutting, parameters of channel processes, geoinformation system.

**Funding:** The study was completed under the regulations on the Scientific and Educational Consortium of the Institute of Natural Sciences of the Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, the Union "Chamber of Commerce and Industry of the Kaluga Region" and LLC Firm "Ekoanalitika" dated 28.09.2021.

**For citation:** Zakharova M. V., Shoshina R. R. Determination of Meandering Parameters on a Section of the Zhizdra River Channel in the Kaluga Region Using GIS-technologies. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2023, no. 4, pp. 90-97 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/90-97>

### REFERENCES

1. Baryshnikov N. B., Isaev D. I. *Ruslovye processy: uchebnik* [Channel processes: textbook]. Saint-Petersburg: RGGMU, 2014. 503 p. (In Russ.)

2. *Geografiya Kaluzhskoj oblasti: uchebnoe posobie* [Geography of the Kaluga region: textbook] / K. V. Pashkang, S. G. Lyubushkina, N. N. Rodzevich i dr. Tula: Priokskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1989. 119 p. (In Russ.)

3. *Geografiya opasnyh proyavlenij ruslovyh processov na rekah Rossii* [Geography of hazardous channel processes on Russian rivers] / R. S. Chalov, A. V. Chernov, K. M. Berkovich, N. M. Mihajlova. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2017, vol. 149, v. 4, pp. 13-33. (In Russ.)

4. Gubareva E. K., Chernov A. V. *Geoekologicheskie aspekty ruslovyh i pojmnennyh processov v bassejne reki Amur* [Geoecological aspects of channel and floodplain

© Zakharova M. V., Shoshina R. R., 2023

✉ Regina R. Shoshina, e-mail: [rerish@inbox.ru](mailto:rerish@inbox.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

processes in the Amur River basin]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2015, vol. 25, v. 4, pp. 107-115. (In Russ.)

5. Dinamika processov rusloformirovaniya i deformacii beregov na uchastkah svobodnogo meandrirovaniya osnovnyh pritokov reki Oki v Kaluzhskoj oblasti [Dynamics of the processes of channel formation and deformation of the banks in the sections of free meandering of the main tributaries of the Oka River in the Kaluga region] / A.D. Molodyk, I.V. Man'shina, R.R. Shoshina i dr. *Sostoyanie i ohrana okruzhayushchej sredy v Kaluge: sbornik materialov*, 2022, pp. 16-18. (In Russ.)

6. Stolyarskij A. V. Ruslovyje processy na reke Zhizdre [Channel processes on the Zhizdra River] // *Sostoyanie i ohrana okruzhayushchej sredy v Kaluge: sbornik materialov*, 2022, pp. 19-21. (In Russ.)

7. *Fizicheskaya geografiya i priroda Kaluzhskoj oblasti: uchebnoe posobie* [Physical geography and nature of the Kaluga region: textbook] / O.I. Alejnikov, O.A. Epishchev, T.K. Petrovskaya i dr. Kaluga: Izdatel'stvo N.Bochkarevoj, 2003. 272 p. (In Russ.)

Захарова Марина Владимировна  
заведующая кафедрой географии, кадастров и техно-  
сферной безопасности института естествознания Ка-  
лужского государственного университета им. К.Э. Ци-  
олковского, г. Калуга, Российская Федерация, ORCID:  
0000-0002-4946-811X, e-mail: ZakharovaMV@tksu.ru

Шошина Регина Ринатовна  
старший научный сотрудник ООО фирмы «Экоанали-  
тика», г. Калуга, Российская Федерация, ORCID: 0000-  
0002-5886-9388, e-mail: rerish@inbox.ru

8. Chalov R.S. Parametrizaciya ruslovyh processov dlya ih prognoznyh ocenok i diagnostiki opasnyh proyavle-  
nij [Parameterization of channel processes for their predic-  
tive assessments and diagnostics of dangerous occurrences].  
*Vodnye resursy*, 2017, vol. 44, no. 5, pp. 551-562. (In Russ.)

9. Chalov R. S., Zavadskij A. S., Panin A. V. *Rechnye izluchiny* [River meanders]. Moscow: Izdatel'stvo MGU, 2004. 371 p. (In Russ.)

10. Chalov R.S., Kamyshev A.A. Morfodinamika i gidromorfologiya rechnyh rusel kak razdely ucheniya o ruslovyh processah [Concepts of Hydromorphology and River Morphodynamics in Channel Processes Science]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2020, vol. 84, no. 6, pp. 844-854. (In Russ.)

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Received: 21.01.2023*

*Accepted: 28.11.2023*

Marina V. Zakharova  
Head of the Department of Geography, Cadastre and Tech-  
nosphere Safety of the Institute of Natural Sciences, Kalu-  
ga State University named after K.E. Tsiolkovski, Kalu-  
ga, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-4946-811X,  
e-mail: ZakharovaMV@tksu.ru

Regina R. Shoshina  
Senior Researcher, Limited Liability Company Firm  
"Ekoanalitika", Kaluga, Russian Federation, ORCID:  
0000-0002-5886-9388, e-mail: rerish@inbox.ru