

УДК556.5

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОБРОВЫХ ПЛОТИН И ПРУДОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ПОВОЛЖЬЯ

© 2024 г. А. Г. Шарифуллин*, А. В. Гусаров**

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

*E-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

**E-mail: AVGusarov@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2024 г.

После доработки 30.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Бобры как млекопитающие, которые обладают уникальной способностью преобразовывать водотоки и их пойменно-русловые комплексы путем строительства плотин и связанных с ними прудов, интенсивно осваивают ручьи и особенно малые реки, а также небольшие протоки более крупных рек Восточной Европы. В ходе геодезической съемки с помощью GNSS-оборудования и полевого обследования четырех малых рек возвышенностей степной зоны Поволжья выявлены особенности размещения бобровых плотин и связанных с ними прудов, а также определены их некоторые морфометрические характеристики (высота и длина плотин, и их соотношение; длина прудов). Анализ продольных профилей рек показал существенную роль уклонов в размещении указанных бобровых сооружений: около 90% их расположено на уклонах речных русел менее 2%, в том числе 56% — менее 1%. Выявлена слабая и статистически незначимая тенденция увеличения высоты бобровых плотин, а также статистически значимый тренд уменьшения длины бобровых плотин и связанных с ними прудов по мере роста уклонов русел. Наибольшие средние высоты бобровых запруд приурочены к тем малым рекам, земли бассейнов которых значительно распашаны (преимущественно глинисто-суглинистые черноземы).

Ключевые слова: *Castor fiber* L., GNSS-приемник, русло, пойма, продольный профиль реки, Восточно-Европейская равнина

DOI: 10.31857/S0869607124040129, **EDN:** MNTNLJ

ВВЕДЕНИЕ

В начале XX в. евразийский бобр (*Castor fiber* L.) был в России на грани полного истребления. Малочисленные его колонии на Восточно-Европейской равнине сохранялись в то время лишь в бассейнах Днепра (бассейны рр. Березина, Сож, Припять, Тетерев, Ворскла и др.) и Дона (в бассейне реки Воронеж). В этой связи, для наиболее крупных колоний были организованы заповедники по сохранению оставшихся бобровых популяций (Березинский и Воронежский). Реакклиматизация *Castor fiber* L. на Восточно-Европейской равнине была начата с интродукции особей этого вида из Воронежского заповедника, а с 1948 г. — из Березинского заповедника и вторичных колоний, которые образовались в результате предыдущих выпусков [3]. К настоящему времени раннее заложенные колонии значительно расширились

(в том числе и в степной зоне), и численность этих животных в Европейской части России превысила 500 тыс. особей [9].

Строительная деятельность *Castor fiber* L. оказывает влияние на гидрологический и биохимический режимы малых рек, вносит изменения в биологическое разнообразие речных и пойменных биоценозов [4, 7, 10], приводит к трансформации продольных и поперечных профилей речных русел [24] через усиление боковой (на участках близ бобровых плотин) и глубинной (ниже плотин) русловой эрозии [13, 14], повышенное накопление наносов [12, 22], органических веществ и связанных с ними загрязнителей на дне бобровых прудов в пределах пойменно-русловых комплексов [14, 15]. Все это интегрируется в изменения ландшафтов в днищах долин водотоков [28, 31].

Малые реки степной зоны региона являются одним из важных источников обеспечения водой населенных пунктов и сельского хозяйства [2]. В условиях продолжающегося изменения климата, а также антропогенной нагрузки, происходит изменение водного режима малых рек и нарушение эрозионных и аккумулятивных процессов в их руслах, насыщение речных вод и наносов загрязняющими веществами, что приводит, в целом, к деградации этих гидрографических объектов [5, 6]. Одним из естественных методов восстановления малых рек могут служить бобровые сооружения (плотины и пруды), которые позволяют увеличить глубину водотоков [20] и снизить размывающую скорость их течения, перехватывают взвешенные и влекомые наносы и связанные с ними загрязнители [16, 17, 27]. Для того чтобы бобровые плотины и связанные с ними пруды стали широко применимым инструментом восстановления малых рек, прежде всего в степной и лесостепной зонах, необходимо выявить особенности их размещения и изменения их морфометрических характеристик вдоль самих рек. Несмотря на продолжающееся увеличение популяции и расширение ареала *Castor fiber* L. в регионе, исследования по данной тематике практически не проводятся. В этой связи целью данной работы является выявление особенностей размещения и изменения некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и связанных с ними прудов на малых реках возвышенностей степной зоны указанного региона, в котором это исследование проводится впервые.

ТЕРРИТОРИЯ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводились в июне 2024 г. на четырех малых реках степной зоны Восточно-Европейской равнины (Среднее и Нижнее Поволжье (табл. 1 и 2, рис. 1)). Выбор этих рек был обусловлен их репрезентативностью для своего субрегиона по геолого-геоморфологическим условиям и наличием в них бобровой деятельности. Длина рек изменяется от 5.3 км до 14.4 км, площадь бассейнов — от 10.6 до 48.8 км². Водное питание исследуемых рек — смешанное, с преобладанием снегового. В связи с этим преобладающая доля годового стока воды рек приходится на весеннее половодье (март–апрель).

Бассейны изученных малых рек расположены в южной половине Приволжской возвышенности (Предволжье Саратовской области) — реки Ягодная и Жилой Ключ, и в Высоком Заволжье: на юго-востоке Бугульминско-Белебеевской возвышенности — р. Малая Ега, и на “отрогах” северо-западной оконечности возвышенности Общий Сырт — р. Пьянка. Информация о литологическом строении бассейнов рек приведена в таблице 3. В долинах изученных рек поймы морфологически выраже-

Таблица 1. Геодезические координаты устьев изученных малых рек и их положение в более крупных речных системах (см. рис. 1)

Table 1. Geodetic coordinates of the mouths of the studied small rivers and their position relative to larger river systems (see Fig. 1)

№	Река	Координаты		Система реки
		Широта	Долгота	
1	Ягодная	51.9745897	45.6038035	Чардым
2	Жилой Ключ	52.5011607	47.5631181	Терешка
3	Малая Ега	53.6110688	51.976296	Большой Кинель
4	Пьянка	53.1600346	52.6059219	Бузулук

Таблица 2. Некоторые количественные характеристики изученных малых рек и их бассейнов

Table 2. Some quantitative characteristics of the studied small rivers and their basins

№	Реки	Характеристики					
		$\bar{L}$, км	F , км ²	ΔH , м	H , м	α , %	Ant, %
1	Ягодная	5.3	10.6	102.4	285	1.93	35
2	Жилой Ключ	14.4*	48.8	147.3	156	1.02	33
3	Малая Ега	8.0	19.3	116.3	145	1.45	77
4	Пьянка	10.4	35.1	84.5	191	0.81	76

$\bar{L}$ — длина реки от истока (включая сухую долину (балку) в верховье) до устья; F — площадь бассейна реки; ΔH — падение реки; H — средняя высота бассейна реки, α — уклон реки; Ant — доля культивируемых (за исключением заброшенных) земель в общей площади бассейна реки. * — длина обследованного участка русла реки.

ны небольшими фрагментами, а речные террасы — более крупными массивами. Естественная растительность на приводораздельных поверхностях представлена фрагментами сосново-дубовых и липово-кленовых лесов и сообществами богато-разнотравных типчаково-ковыльных лугов [1, 8]. Вдоль рек, на их поймах и низких террасах, комбинируются сообщества из мелколиственных лесов, кустарников и влажнотравных лугов. Преобладающим подтипом почв в бассейнах четырех рек являются черноземы обыкновенные, преимущественно суглинистые и глинистые, которые в ходе хозяйственного освоения степной зоны были значительно распаханы. Исследуемые реки протекают в следующих административных регионах Европейской части России: Саратовская, Самарская и Оренбургская области.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые работы

Продольное профилирование рек проводилось методом спутникового позиционирования (GNSS—приемник — Trimble R-10). Съёмка русел малых рек производилась в режиме “Radio RTK”, главной особенностью которого является использование базовой станции и ровера. Базовая станция во время съёмки использовалась как стационарное устройство для непрерывного обеспечения мобильного ровера информацией об измерениях и коррекции для постобработки и высокоточного

позиционирования в реальном времени. При работе в радиорежиме стандартное отклонение полученных координат и высот составило, в среднем, не более 20 мм в плане и не более 30 мм по высоте. GNSS-приемником были определены плановые и высотные отметки уреза воды рек и бобровых прудов: положение и высота уреза воды на изгибах рек, высота нижнего (при наличии) и верхнего бьефов прудов у бобровых плотин и пр. Дополнительно определялись высота (h) и длина (D) бобровых плотин с помощью, соответственно, геодезической вешки и рулетки. Высота плотин измерялась от подножия нижнего борта плотины в тальвеге русла до уровня максимальной высоты плотины. Длина плотины измерялась вдоль ее гребня. Длина пруда (L) определялась как расстояние от плотины до точки выклинивания поверхности пруда по кратчайшей ломаной (или прямой, в зависимости от плановой морфологии пруда) линии. Эти метрические подходы были ранее апробированы различными исследователями [11, 18, 19, 29].

Камеральные работы

В программное обеспечение Trimble Business Center загружались данные с GNSS-приемника, где они обрабатывались путем редактирования и уравнивания. В программе QGIS для каждой отметки уреза реки и положения плотин, а также их нижнего и верхнего бьефов определялось расстояние от устья исследуемой реки. В программе Excel по вышеперечисленным параметрам были построены продоль-



Рис. 1. Положение изученных малых рек. I – границы административных регионов Российской Федерации; II – административные центры регионов; III – положение устьев изученных малых рек: 1 – река Ягодная, 2 – река Жилой Ключ, 3 – река Малая Ега, 4 – река Пьянка (координаты устьев рек приведены в табл. 1); IV – средние и крупные реки; V – водохранилища и озера.

Fig. 1. Location of the studied small rivers. I – borders of administrative regions of the Russian Federation; II – administrative centers; III – location of the mouths of the studied small rivers: 1 – Yagodnaya River, 2 – Zhiloy Klyuch River, 3 – Malaya Yega River, and 4 – Pyanka River (the coordinates of the mouths of the rivers are given in Table 1); IV – medium-size and large rivers; V – reservoirs and lakes.

Таблица 3. Преобладающие поверхностные горные породы в бассейнах изученных малых рек
Table 3. The predominant surface rocks in the basins of the studied small rivers

Бассейны рек	Литологическое строение	
	Коренные породы	Четвертичные отложения
Ягодная	Пески, песчаники, опоки (палеоцен)	Элювиальные глины и суглинки
Жилой Ключ	Мел и опоки (верхний мел)	Делювиальные и элювиальные суглинки с включением щебня
Малая Ега	Глина и алевролит (верхняя пермь)	Делювиальные суглинки
Пьянка	Глина и алевролит (верхняя пермь)	Делювиальные суглинки с включением щебня и дресвы

ные профили четырех малых рек, определена плотность бобровых плотин вдоль них, а также общие и частные уклоны русел рек.

Помимо вышеприведенных характеристик, были определены следующие количественные и качественные показатели, относящиеся к исследуемым рекам и их бассейнам (см. табл. 1): длина реки от истока (включая, как правило, небольшую сухую долину в ее верховьях) до устья ($\bar{L}$), рассчитанная по результатам полевых исследований; площадь бассейна реки (F), определяемая по цифровым моделям рельефа SRTM4 путем выделения линий водораздела в программе QGIS; средняя высота бассейна реки (H), определенная по данным SRTM в программе QGIS; падение реки (ΔH) — разница между максимальной и минимальной абсолютными отметками урвов воды реки, полученными в полевых условиях; уклон реки (α), рассчитываемый как отношение падения (ΔH) реки к ее длине ($\bar{L}$); преобладающие породы, составляющие поверхность бассейна реки (Lit), согласно геологической карте дочетвертичных и четвертичных отложений (см. табл. 3); доля площади обрабатываемых (без учета заброшенных) земель в общей площади бассейна реки — Ant (см. табл. 1).

Статистический анализ данных

Статистическая обработка данных проводилась в приложении XLSTAT 2016.02.28451 для Microsoft Excel. Сравнение средних значений осуществлялось с применением t -теста Стьюдента, а выявление тенденций и их статистической значимости в рядах данных — теста Манна—Кендалла. Эти ряды предварительно проверялись на однородность (тесты Петтитта и Буйшанда).

Результаты

На четырех изученных малых реках степной зоны возвышенного Поволжья было выявлено в общей сложности 158 бобровых плотин и связанных с ними прудов (табл. 4). Наиболее высокая плотность плотин определена для относительно короткой реки Ягодная — 8.3 ед./км для всего русла реки и 12.9 ед./км — для обводненной в межень (в период полевых работ) его части; наиболее низкая — на самой длинной реке Жилой Ключ — всего 1.3 ед./км и 1.8 ед./км соответственно.

На продольных профилях изученных рек практически все бобровые плотины и связанные с ними пруды (почти 99%) размещаются на участках с уклонами менее 3% (рис. 2). Причем в 90% случаев они располагаются на уклонах русел менее 2%, в том числе в 56% случаев — менее 1%.

Выявлена слабовыраженная тенденция увеличения высоты бобровых плотин (h) по мере роста уклонов русел рек (рис. 3). Однако эта тенденция, согласно тесту Манна–Кендалла, не является статистически значимой (табл. 5).

С увеличением уклонов русел малых рек наблюдается статистически значимое ($p = 0.05$) уменьшение длины бобровых плотин (D) (табл. 5). Критическое значение уклонов русел, при котором происходит статистически значимое изменение длины плотин, составляет 0.75% (согласно тесту Петтитта; $p = 0.031$) (табл. 5). В то же время альтернативный тест Буйшанда не выявил такого критического уклона русел, отнеся ряд зависимости $D/h = f(\alpha)$ к однородному.

Также выявлена статистически значимая тенденция ($p = 0.001$) уменьшения соотношения длины и высоты бобровых плотин (индекс D/h) по мере увеличения

Таблица 4. Количество и плотность плотин на изученных малых реках степного Поволжья (N – количество бобровых плотин, ρ – плотность бобровых плотин относительно всей длины речного русла, β – плотность бобровых плотин относительно длины обводненной в межень части речного русла во время полевых работ)

Table 4. The number and density of beaver dams in the studied small rivers of the steppe zone of the Volga Region (N is the number of beaver dams, ρ is the density of beaver dams along the entire length of the river channel, β is the density of beaver dams relative to the length of the river channel flooded in the low–water season during fieldwork)

№	Реки	N , ед.	ρ , ед./км	β , ед./км
1	Ягодная	44	8.3	12.9
2	Жилой Ключ	18	1.3	1.8
3	Малая Ега	51	6.4	6.9
4	Пьянка	45	4.3	4.4

Таблица 5. Результаты статистического тестирования рядов зависимости некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов изученных малых рек от уклонов их русел (α) (см. рис. 3)

Table 5. Results of statistical testing the data series of some morphometric parameters of beaver dams and ponds of the studied small rivers depending on the slopes of their channels (α) (see Fig. 3)

Тестирование		Морфометрические параметры			
		$h = f(\alpha)$	$D = f(\alpha)$	$D/h = f(\alpha)$	$L = f(\alpha)$
Линейный тренд ряда	Тест Манна– Кендалла	Отсутствует; $p = 0.241^1$	Присутствует; [–]; $p = 0.05$	Присутствует; [–]; $p = 0.001$	Присутствует; [–]; $p < 0.0001$
	Тест Петтитта	Однородный $p = 0.223^2$	Неоднородный [0.75]; $p = 0.031$	Неоднородный [0.90]; $p = 0.007$	Неоднородный [0.78]; $p < 0.0001$
Однородность ряда	Тест Буйшанда	Однородный $p = 0.364$	Однородный $p = 0.294$	Однородный $p = 0.107$	Неоднородный [0.78]; $p < 0.0001$

¹ Статистическая вероятность присутствия тренда ([–] – отрицательный тренд); ² Статистическая вероятность неоднородности ряда; [0.75], [0.90], [0.78] – критические величины уклонов русел малых рек (в %) при неоднородности ряда.

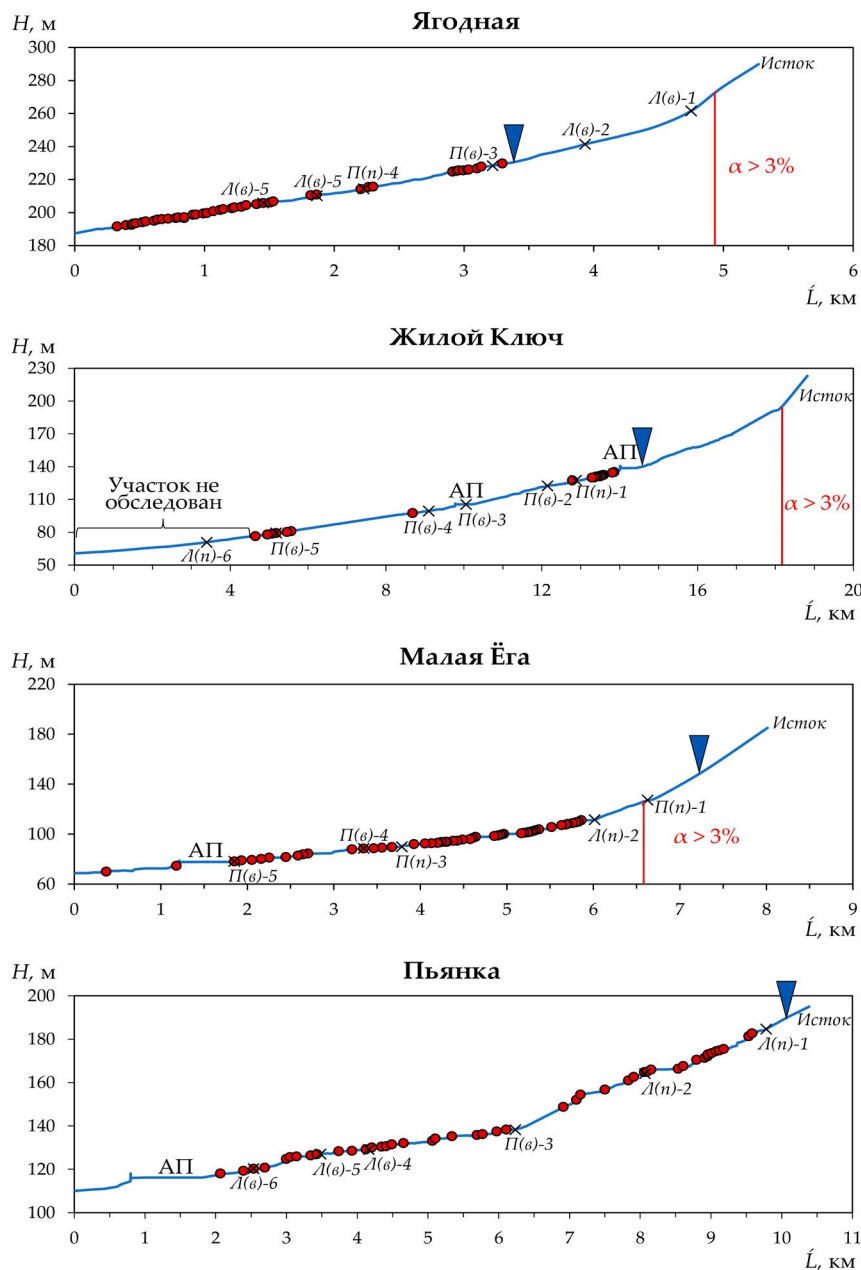


Рис. 2. Продольные профили изученных малых рек ($\bar{L}$ – горизонтальное проложение, H – абсолютная высота, Π и Λ – правый и левый притоки соответственно, n и $в$ – постоянный и временный водотоки соответственно, α – средний уклон русла, АП – антропогенный пруд; треугольник – положение истока реки в межень во время полевых работ).

Fig. 2. Longitudinal profiles of the studied small rivers ($\bar{L}$ – horizontal distance, H – absolute elevation, Π and Λ – right and left tributaries respectively, n and $в$ – permanent and temporary watercourses respectively, α – the average slope of the riverbed, АП – anthropogenic pond; the triangle is the position of the river source during low-water flow in the period of fieldwork).

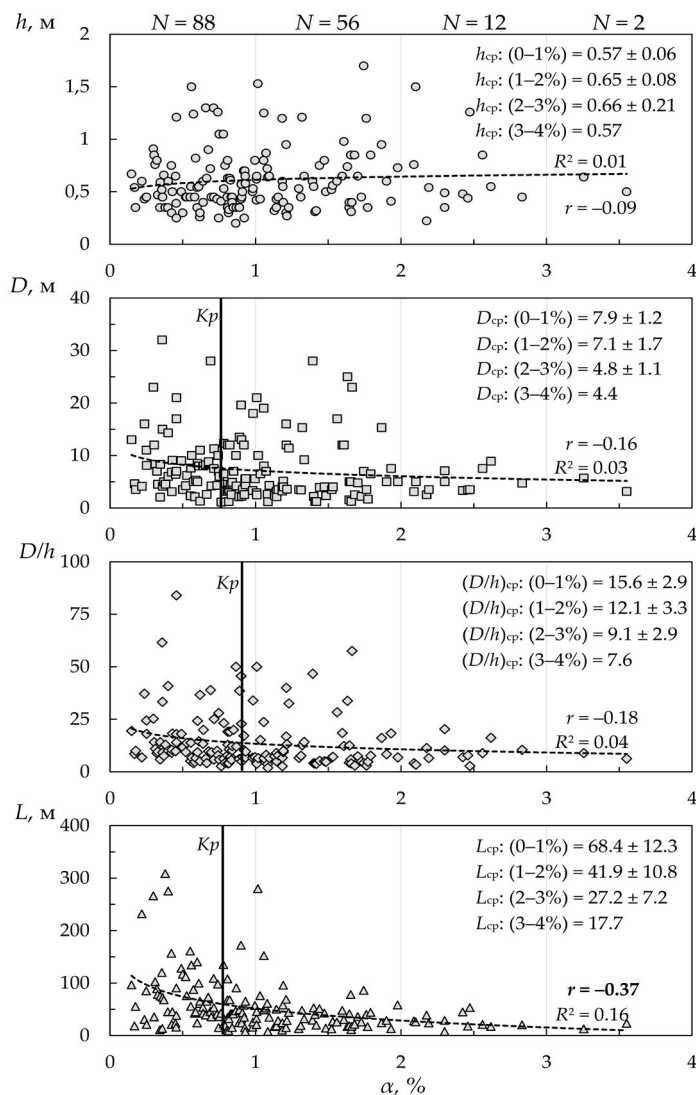


Рис. 3. Изменение некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов в изученных малых реках в зависимости от уклонов их русел. h и D — высота и длина бобровой плотины соответственно; D/h — их соотношение, L — длина пруда, α — уклон русла на участке размещения плотины и связанного с ней пруда. h_{cp} , D_{cp} , $(D/h)_{cp}$, L_{cp} — усредненные величины соответствующих характеристик по интервалам уклонов русел рек; N — общее количество бобровых плотин и связанных с ними прудов по интервалам уклонов русел рек; Kp — критическая величина уклонов русел малых рек (в %), согласно тесту Петтитта (табл. 5); R^2 — коэффициент аппроксимации логарифмического тренда (пунктирная линия); r — коэффициент линейной корреляции между соответствующими параметрами.

Fig. 3. Changes in some morphometric parameters of beaver dams and ponds in the studied small rivers depending on the slopes of their channels. h and D — height and length of beaver dam respectively, D/h — their ratio, L — length of beaver pond, α — riverbed slope in the sector with beaver dam and associated pond. h_{cp} , D_{cp} , $(D/h)_{cp}$, L_{cp} — average values of the corresponding parameters by riverbed slope intervals; N — total number of beaver dams and associated ponds by riverbed slope intervals; Kp is the critical value of the slopes of small riverbeds (in %), according to the Pettitt test (Table 5); R^2 is the approximation coefficient of the logarithmic trend (dashed line); r is the coefficient of linear correlation between the corresponding parameters.

уклонов русел малых рек. Значение уклонов русел, при котором происходит статистически значимое изменение индекса D/h , составляет 0.90%, согласно тесту Петитта ($p = 0.007$). Как и в случае с показателями h и D , альтернативный тест Буйшанда также не выявил критического значения уклонов русла для статистически значимой трансформации зависимости индекса D/h от уклона русла.

Помимо вышеуказанных, выявлен статистически значимый ($p < 0.0001$) тренд уменьшения длины бобровых прудов (L) с ростом уклонов речных русел. Критическое значение уклонов русел, при которых происходит статистически значимое изменение длины бобровых прудов, составляет 0.78% (по тестам Петтитта и Буйшанда; $p < 0.0001$).

Установлено косвенное влияние деятельности человека на морфометрические параметры бобровых плотин и прудов, которое выражается через изменение степени распаханности речных бассейнов изученных рек. В тех речных бассейнах, где распаханность почв сравнительно небольшая (33–35%), средняя высота бобровых плотин оказалась статистически значимо ниже (примерно на 20%), чем в речных бассейнах с распаханностью почв в 76–77% (табл. 6). При сравнении средних длин бобровых плотин и прудов статистически значимых различий не выявлено, хотя несколько большие (также примерно на 20%) длины прудов характерны для речных бассейнов с наибольшей выявленной распаханностью почв (табл. 6). Отметим, что в изменении индекса D/h по всем четырем изученным малым рекам фиксируется статистически значимое уменьшение в связи с ростом почвенной распаханности в их бассейнах.

Таблица 6. Изменения усредненных морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов на изученных малых реках в зависимости от степени распаханности почв их бассейнов

Table 6. Changes in average morphometric parameters of beaver dams and ponds in the studied small rivers depending on the plowing of the soils of their basins

Характеристики	Распаханность почв в бассейнах		p
	33–35% ¹	76–77% ²	
Высота плотины (h)	0.53 ± 0.04	0.66 ± 0.08	$p < 0.01$
Длина плотины (D)	7.7 ± 1.1	7.1 ± 1.5	$p > 0.05$
D/h	16.9 ± 3.1	11.8 ± 2.6	$p < 0.05$
Длина пруда (L)	48.9 ± 11.2	59.4 ± 12.5	$p > 0.05$

¹ 33% – Жилой ключ, 35% – Ягодная; ² 76% – Пьянка, 77% – Малая Ега; p – статистическая вероятность различия между средними величинами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные выше результаты показывают важную роль уклонов русел рек в размещении бобровых плотин и связанных с ними прудов. На исследованных реках лишь единичные бобровые постройки встречаются на уклонах русел более 3%, в то время как доминирующая часть (около 91%) этих объектов располагается на уклонах русел менее 2%. Примерно такая же доля (около 92%) бобровых сооружений на уклонах русел менее 2% нами ранее выявлена для 10 малых рек лесной и лесостепной зон Волго-Камского региона [19, 29]. Изменение уклона русла отражается как на общем количестве, так и на плотности и характере размещения бобро-

вых сооружений вдоль исследуемых рек. Ранее отмеченные величины средних плотностей бобровых плотин сопоставимы или несколько ниже таковых для малых рек Северной Америки — 7–10 ед./км [13, 23, 26]. В работе по лесной зоне провинции Онтарио (Канада) [30], к примеру, выявлены практически такие же уклоны рек наибольшего распространения бобровых строений — 1–4%.

Отмеченные выше изменения некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов в зависимости от изменения уклонов русел малых рек вполне ожидаемы. На участках рек со сравнительно большими уклонами русла при формировании достаточно большого водоема, пригодного для жизни семьи бобров, необходимо строительство более высокой плотины, что в целом подтверждается тенденцией, хотя и статистически незначимой, к увеличению высоты плотин с увеличением уклонов рек. Скорее всего возведение высоких плотин в среднем и особенно верхнем течении малых рек ограничено уменьшением объемов древесного строительного материала в степной зоне. Ведь плотины состоят, как правило, из крупных стволов деревьев (до 20–30 см в диаметре; преимущественно осина, ива, тополь, береза и др.), их ветвей (рис. 4), обрезков сучьев (до 6 см в диаметре), листьев, травы (включая рогоз и тростник), щебня и гальки [21, 25], перемешанных с тонкодисперсным материалом.

В нижних течениях рек с наименьшими уклонами, где расходы воды и ширина водотоков, как правило, наибольшие, для строительства прудов требуются самые длинные плотины (часто с затоплением поймы реки). Этот вывод подтверждается статистически значимым увеличением длины плотин на малых реках с уклонами менее 1% (см. рис. 3), особенно при уклонах менее 0.75% (см. табл. 5). Выше по течению, по мере увеличения уклонов русла, длина плотин, как правило, уменьшается, что следует за сужением самого русла из-за его более глубокого вертикального врезания в коренные породы (особенно в средних течениях рек) (см. рис. 4).

Увеличение длины бобровых прудов при уменьшении уклонов русел также логично и имеет физическую основу. При прочих равных условиях, при одинаковой средней высоте бобровых плотин на более низких уклонах русла образуется большее по площади и длине водное зеркало пруда, чем на более высоких, согласно закону тригонометрии. Если и есть исключения, то они носят локальный характер.

Большие средние высоты бобровых плотин в бассейнах малых рек с высокой антропогенной освоенностью (распаханностью почв) связаны, на наш взгляд, с одной стороны, с поступлением в реки куда большего объема эрозионного материала с пахотных угодий, чем в реки с относительно слабораспаханными водосборами. Ведь материал, поступивший преимущественно с пашни, приводит к заиливанию прудов, и для повышения эффективности функционирования пруда бобры не только очищают заиленное русло внутри самого пруда [19], тем самым увеличивая его транспортирующую способность, но и наращивают высоту плотин. С другой стороны, гидрологические режимы малых рек с сильно распаханными бассейнами отличаются, при прочих равных условиях, большей внутригодовой неравномерностью стока воды по сравнению с аналогичными реками с малоосвоенными бассейнами. В таких реках сравнительно более высокие уровни воды в половодья и паводки, особенно в верхнем и среднем их течениях, в какой-то мере также способствуют созданию бобрами более высоких запруд.

В ходе полевых работ нами были также встречены эрозионные уступы (высотой до 1.5 м) в ранее накопленных отложениях бобровых прудов, занимавших не только

русло, но и прилегающую пойму (рис. 5). Они, скорее всего, являются следствием регрессивного размыва этих наносов, последовавшим после разрушения бобровой плотины ниже по течению. Примечательно, что такие процессы нами встречены в малых реках с сильно распаханными водосборами. Именно в этих условиях, с одной стороны, происходит наиболее интенсивное и быстрое заиливание речных прудов [12] и, с другой стороны, возникает необходимость бобрам менять дислокацию своего поселения при полном заиливании (седиментационной деградации) пруда. Этот вопрос требует дальнейшего и более детального изучения.



Рис. 4. Примеры бобровых плотин и связанных с ними прудов на изученных малых реках в: А – среднем течении р. Ягодная, Б – нижнем течении р. Жилой Ключ, В – среднем течении Малая Ега, Г – верхнем течении р. Пьянка.

Fig. 4. Examples of beaver dams and associated ponds in the studied small rivers in: A – the middle reaches of the Yagodnaya River, Б – the lower reaches of the Zhiloy Klyuch River, В – the middle reaches of the Malaya Yega River, and Г – the upper reaches of the Pyanka River.



Рис. 5. Эрозионные уступы в ранее сформированных отложениях бобровых прудов в пойменно-русловом комплексе долины реки Пьянка.

Fig. 5. Erosion benches (steps) in previously formed deposits of beaver ponds in the floodplain—channel complex of the Pyanka River valley.

ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нижние 4.5 км течения реки Жилой Ключ не были обследованы относительно расположения и морфометрических характеристик бобровых сооружений из-за высокой заболоченности в этой части долины реки. На других участках изученных рек, характеризующихся меньшей заболоченностью, длины некоторых плотин могли быть определены с меньшей точностью.

В руслах рек иногда встречаются близко расположенные друг другу бобровые плотины: одна главная (выше по течению), вторая — вспомогательная (как правило, в нескольких метрах ниже главной), небольшой пруд которой предохраняет основную плотину от размыва при стоке воды через нее. В нашем исследовании такие вспомогательные плотины не учитывались.

На данном этапе исследования мы не проводили анализ влияния литолого-почвенной неоднородности между речными бассейнами на изучаемые морфометрические характеристики бобровых сооружений. Это обусловлено, прежде всего, сравнительно однородным составом четвертичных отложений и почв, слагающих поверхности изученных речных бассейнов.

Также не рассмотрены другие факторы, влияние которых на размещение и морфометрические характеристики бобровых сооружений очевидно (морфолого-морфометрические особенности русла и поймы, изменения стока воды вдоль рек, изменения видового состава и обилия прибрежной растительности, продолжительность расселения бобров по изученным рекам и т.д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в работе результаты показывают значимую роль уклонов русел в распределении бобровых прудов и плотин в малых реках степной зоны Поволжья. На исследуемых реках практически все бобровые сооружения расположены на уклонах менее 3% (около 91% — на уклонах русел менее 2%); лишь единичные сооруже-

ния встречаются на уклонах русел более 3%. Наиболее высокая плотность определена для относительно короткой реки Ягодная — 12.9 ед./км, бассейн которой имеет наибольшую среднюю абсолютную высоту; наиболее низкая — 1.8 ед./км — для реки Жилой Ключ, наиболее длинной из обследованных рек, бассейн которой имеет одну из самых низких средних абсолютных высот.

По всем изученным рекам наблюдается слабая и статистически незначимая тенденция увеличения высоты бобровых плотин, а также статистически значимое уменьшение длины плотин, индекса D/h и длины бобровых прудов по мере роста уклонов русел рек. Причем критическими рубежами русловых уклонов, при которых происходят статистически значимые изменения в длине плотин, индексе D/h и длине бобровых прудов являются уклоны в 0.75%, 0.9% и 0.78% соответственно. Иными словами, интервал уклонов русел малых рек в степной зоне Поволжья в 0.75–0.9% можно предварительно рассматривать как важный топографический рубеж в изменениях морфометрических характеристик бобровых построений, созданных на них.

Наибольшая средняя высота бобровых плотин приурочена к наиболее сельскохозяйственно-освоенным речным бассейнам, сложенным с поверхности делювиальными и элювиальными суглинистыми отложениями. В качестве основной причины этого выдвигается косвенная антропогенная трансформация гидрологического режима таких рек через изменения природных ландшафтов в их бассейнах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Г. Шарифуллина и Т. Мансурова за помощь в проведении полевых работ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10087, <https://rscf.ru/project/22-77-10087/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Географический атлас Оренбургской области. Геопортал Русского географического общества. 2020. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennyye-po-grantam-i-0> (дата обращения: 24.08.2024).
2. *Водоградецкий В. Е.* Антропогенные изменения стока малых рек. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 175 с.
3. *Жарков И. В.* Итоги расселения речных бобров в СССР // Труды Воронежского государственного заповедника. Восстановление и рациональное использование запасов речного бобра в СССР. 1969. Вып. XVI. С. 10–51.
4. *Завьялов Н. А.* Влияние речного бобра на экосистемы малых рек. М.: Изд-во Наука, 2005. 186 с.
5. *Иванова Н. Н., Голосов В. Н., Ковальчук И. П.* Исследования малых рек Восточной Европы: подходы, результаты, проблемы, перспективы // Эрозионные и русловые процессы. 2005. № 4. С. 153–174.
6. *Кувалкин А. А., Бондаренко В. Л.* Экологически устойчивое управление природно-техническими системами бассейнов малых рек // Мелиорация и гидротехника. 2012. № 3. С. 166–174.
7. *Осинов В. В., Башинский И. В., Подшивалина В. Н.* О влиянии деятельности речного бобра — *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) на биоразнообразие экосистем малых рек лесостепной зоны // Поволжский экологический журнал. 2017. № 1. С. 69–83.

8. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области. Геопортал Русского географического общества. 2013. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennye-po-grantam-i-10> (дата обращения: 24.08.2024).
9. Численности основных видов охотничьих зверей. Портал Млекопитающие России. 2022. URL: <https://rusmam.ru/news/view?id=68> (дата обращения: 24.08.2024).
10. Baker B. W., Hill E. P. Beaver (*Castor canadensis*). In Wild mammals of North America: biology, management, and conservation. G.A. Feldhamer, B.C. Thompson, J.A. Chapman (Eds). Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2003. P. 288–310.
11. Bradbury G., Puttock A., Coxon G., Clarke S., Brazier R. E. Testing a novel sonar-based approach for measuring water depth and monitoring sediment storage in beaver ponds // River Res. Appl. 2023. V. 39. № 2. P. 266–273.
12. Burchsted D., Daniels M. D. Classification of the alterations of beaver dams to headwater streams in northeastern Connecticut, USA // Geomorphology. 2014. V. 205. P. 36–50.
13. Butler D. R., Malanson G. P. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams // Geomorphology. 2005. V. 71. № 1–2. P. 48–60.
14. Catalán N., Herrero Ortega S., Gröntoft H., Hilmarsson T. G., Bertilsson S., Wu P., Levanoni O., Bishop K., Bravo, A. G. Effects of beaver impoundments on dissolved organic matter quality and biodegradability in boreal riverine systems // Hydrobiologia. 2017. V. 793. P. 135–148.
15. Čiuldienė D., Vigras E., Belova O., Aleinikovas M., Armolaitis K. The effect of beaver dams on organic carbon, nutrients and methyl mercury distribution in impounded waterbodies // Wildlife Biology. 2020. № 3. P. 1–8.
16. Demmer R., Beschta R. L. Recent history (1988–2004) of beaver dams along Bridge Creek in central Oregon // Northwest Science. 2008. V. 82. № 4. P. 309–318.
17. Green K. C., Westbrook C. J. Changes in riparian area structure, channel hydraulics, and sediment yield following loss of beaver dams // BC Journal of Ecosystems and Management. 2009. № 10. P. 68–79.
18. Graham H. A., Puttock A., Chant J., Elliott M., Campbell-Palmer R., Anderson K., Brazier R. E. Monitoring, modelling and managing beaver (*Castor fiber*) populations in the River Otter catchment, Great Britain // Ecological Solutions and Evidence. 2022. V. 3, № 3. e12168.
19. Gusarov A. V., Sharifullin A. G., Beylich A. A., Lisetskii F. N. Features of the Distribution of Beaver Dams and Ponds along Small Rivers: The Volga–Kama Region, European Russia // Hydrology. 2024. № 11. 53. <https://doi.org/10.3390/hydrology11040053>
20. Hartman G., Törnlov S. Influence of Watercourse Depth and Width on Dam-Building Behaviour by Eurasian Beaver (*Castor Fiber*) // J Zool. 2006. V. 268. P. 127–131.
21. Janiszewski P., Gugolek A., Łobanowska A. Use of shoreline vegetation by the European beaver (*Castor fiber* L.) // Acta Scientiarum Polonorum. 2006. V. 5. № 2. P. 63–70.
22. Levine R., Meyer G. A. Beaver dams and channel sediment dynamics on Odell Creek, Centennial Valley, Montana, USA // Geomorphology. 2014. V. 205. P. 51–64.
23. McComb W. C., Sedell J. R., Buchholz T. D. Dam-site selection by beavers in an eastern Oregon basin // Great Basin Nat. 1990. V. 50. P. 273–281.
24. McCullough M. C.; Harper J. L.; Eisenhauer D. E.; Dosskey M. G. Channel Aggradation by Beaver Dams on a Small Agricultural Stream in Eastern Nebraska. In Self–Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds, 12–15 September 2004. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2005. P. 364–369.
25. Müller G., Watling J. The engineering in beaver dams. In Constantinescu, G., M. Garcia & D. Hanes (eds), A Balkema book, River flow 2016: Proceedings of the International Conference on

Fluvial Hydraulics (River Flow 2016). St. Louis, USA. 11–14 July 2016 (P. 2094–2099). CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781315644479-326>

26. Naiman R. J.; Melillo J. M.; Hobbie J. E. Ecosystem alteration of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*) // Ecology. 1986. V. 67, P. 1254–1269.

27. Pollock M. M., Beechie T. J., Jordan C. E. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon // Earth Surf. Process. Landf. 2007. V. 32. № 8. P. 1174–1185.

28. Pollock M. M., Beechie T. J., Wheaton J. M., Jordan C. E., Bouwes, N., Weber N., Volk C. Using Beaver Dams to Restore Incised Stream Ecosystems // Bioscience. 2014. V. 64. P. 279–290.

29. Sharifullin A. G., Gusarov A. V., Lavrova O. A., Beylich A. A. Channel gradient as a factor in the distribution of beaver dams and ponds on small rivers: A case study in the northern extremity of the Volga Upland, the East European Plain // Water. 2023. V. 15. № 13. 2491.

30. Thompson I. D. Habitat Needs of Furbearers in Relation to Logging in Boreal Ontario // For. Chron. 1988, № 64, P. 251–261.

31. Westbrook C. J., Cooper D. J., Baker B. W. Beaver assisted river valley formation // River Res. Appl. 2011. V. 27. № 2. P. 247–256.

Features of Distribution and Morphometric Characteristics of Beaver Dams and Ponds in Small Rivers of the Uplands of the Steppe Zone of the Volga Region, European Russia

A. G. Sharifullin*, A. V. Gusarov**

Kazan Federal University, Kazan, Russia

*E-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

**E-mail: AVGusarov@mail.ru

Abstract — Beavers, as mammals that have a unique ability to transform watercourses and their floodplain-channel complexes by building dams and associated ponds, intensively develop streams and, especially, small rivers, as well as small branches of larger rivers in Eastern Europe. During a geodetic survey using GNSS equipment and a field survey of four small rivers in the uplands of the steppe zone of the Volga region, the features of the distribution of beaver dams and associated ponds were identified, and some of their morphometric characteristics (height and length of dams and their ratio; length of ponds) were determined. An analysis of the longitudinal profiles of these rivers showed the significant role of slopes (gradients) in the distribution of these beaver structures: about 90% of them are located on riverbed slopes of less than 2%, including 56% of less than 1%. A weak and statistically insignificant trend of increasing height of beaver dams, as well as a statistically significant trend of decreasing length of beaver dams and associated ponds as riverbed slopes increase, was identified. The highest average heights of beaver dams are confined to those small rivers whose basin soils are comparatively heavily plowed (mainly clayey-loamy Chernozems).

Keywords: *Castor fiber* L., GNSS receiver, riverbed, floodplain, longitudinal river profile, East European Plain

REFERENCES

1. Geograficheskij atlas Orenburgskoj oblasti. Geoportal Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2020. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennye-po-grantam-i-0>. (data obrashheniya: 24.08.2024).

2. Vodogreckij V. E. Antropogennyye izmeneniye stoka malyx rek. L.: Gidrometeoizdat. 1990. 175 s.
3. Zharkov I. V. Itogi rasseleniya rechnyx bobrov v SSSR // Trudy Voronezhskogo gosudarstvennogo zapovednika. Vosstanovleniye i racional'noye ispol'zovaniye zapasov rechnogo bobrov v SSSR. 1969. Vyp. XVI. S.10–51.
4. Zav'yalov N. A. Vliyaniye rechnogo bobra na e'kosistemy malyx rek. M.: Izd-vo Nauka, 2005. 186 s.
5. Ivanova N. N., Golosov V. N., Koval'chuk I. P. Issledovaniya malyx rek Vostochnoj Evropy: podkhody, rezul'taty, problemy, perspektivy // E'rozionnyye i ruslovyye processy. 2005. № 4. S. 153–174.
6. Kuvalkin A. A., Bondarenko V. L. E'kologicheski ustojchivoe upravleniye prirodno-tekhnicheskimi sistemami bassejnov malyx rek // Melioraciya i gidrotexnika. 2012. № 3. S. 166–174.
7. Osipov V. V., Bashinsky I. V., Podshivalina V. N. On the *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) activity influence on the ecosystem biodiversity of small rivers in the forest-steppe zone // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2017. № 1. P. 69–83.
8. Uchebno-kraevedcheskiy atlas Saratovskoy oblasti. Geoportal Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2013. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennyye-izdaniya-vypolnennyye-po-grantam-i-10> (data obrashheniya: 24.08.2024).
9. Chislennosti osnovnyx vidov oxotnich'ix zverey. Portal Mlekopitayushhie Rossii. 2022. URL: <https://rusmam.ru/news/view?id=68> (data obrashheniya: 24.08.2024).
10. Baker B. W., Hill E. P. Beaver (*Castor canadensis*). In Wild mammals of North America: biology, management, and conservation. G. A. Feldhamer, B. C. Thompson, J. A. Chapman (Eds). Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2003. P. 288–310.
11. Bradbury G., Puttock A., Coxon G., Clarke S., Brazier R. E. Testing a novel sonar-based approach for measuring water depth and monitoring sediment storage in beaver ponds // River Res. Appl. 2023. V. 39. № 2. P. 266–273.
12. Burchsted D., Daniels M. D. Classification of the alterations of beaver dams to headwater streams in northeastern Connecticut, USA // Geomorphology. 2014. V. 205. P. 36–50.
13. Butler D. R., Malanson G. P. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams // Geomorphology. 2005. V. 71. № 1–2. P. 48–60.
14. Catalán N., Herrero Ortega S., Gröntoft H., Hilmarsson T. G., Bertilsson S., Wu P., Levanoni O., Bishop K., Bravo, A. G. Effects of beaver impoundments on dissolved organic matter quality and biodegradability in boreal riverine systems // Hydrobiologia. 2017. V. 793. P. 135–148.
15. Čiuldišenė D., Vigras E., Belova O., Aleinikovas M., Armolaitis K. The effect of beaver dams on organic carbon, nutrients and methyl mercury distribution in impounded waterbodies // Wildlife Biology. 2020. № 3. P. 1–8.
16. Demmer R., Beschta R. L. Recent history (1988–2004) of beaver dams along Bridge Creek in central Oregon // Northwest Science. 2008. V. 82. № 4. P. 309–318.
17. Green K. C., Westbrook C. J. Changes in riparian area structure, channel hydraulics, and sediment yield following loss of beaver dams // BC Journal of Ecosystems and Management. 2009. № 10. P. 68–79.
18. Graham H. A., Puttock A., Chant J., Elliott M., Campbell-Palmer R., Anderson K., Brazier R. E. Monitoring, modelling and managing beaver (*Castor fiber*) populations in the River Otter catchment, Great Britain // Ecological Solutions and Evidence. 2022. V. 3, № 3. e12168.
19. Gusarov A. V., Sharifullin A. G., Beylich A. A., Lisetskii F. N. Features of the Distribution of Beaver Dams and Ponds along Small Rivers: The Volga-Kama Region, European Russia // Hydrology. 2024. № 11. 53. <https://doi.org/10.3390/hydrology11040053>
20. Hartman G.; Törnlov S. Influence of Watercourse Depth and Width on Dam-Building Behaviour by Eurasian Beaver (*Castor Fiber*) // J Zool. 2006. V. 268. P. 127–131.

21. Janiszewski P., Gugolek A., Łobanowska A. Use of shoreline vegetation by the European beaver (*Castor fiber* L.) // *Acta Scientiarum Polonorum*. 2006. V. 5. № 2. P. 63–70.
22. Levine R., Meyer G.A. Beaver dams and channel sediment dynamics on Odell Creek, Centennial Valley, Montana, USA // *Geomorphology*. 2014. V. 205. P. 51–64.
23. McComb W.C., Sedell J.R., Buchholz T.D. Dam-site selection by beavers in an eastern Oregon basin // *Great Basin Nat.* 1990. V. 50. P. 273–281.
24. McCullough M.C.; Harper J.L.; Eisenhauer D.E.; Dosskey M.G. Channel Aggradation by Beaver Dams on a Small Agricultural Stream in Eastern Nebraska. In *Self-Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds*, 12–15 September 2004. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2005. P. 364–369.
25. Müller G., Watling J. The engineering in beaver dams. In Constantinescu, G., M. Garcia & D. Hanes (eds), *A Balkema book, River flow 2016: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2016)*. St. Louis, USA. 11–14 July 2016 (P. 2094–2099). CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781315644479-326>
26. Naiman R.J.; Melillo J.M.; Hobbie J.E. Ecosystem alteration of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*) // *Ecology*. 1986. V. 67, P. 1254–1269.
27. Pollock M.M., Beechie T.J., Jordan C.E. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon // *Earth Surf. Process. Landf.* 2007. V. 32. № 8. P. 1174–1185.
28. Pollock M.M., Beechie T.J., Wheaton J.M., Jordan C.E., Bouwes N., Weber N., Volk C. Using Beaver Dams to Restore Incised Stream Ecosystems // *Bioscience*. 2014. V. 64. P. 279–290.
29. Sharifullin A.G., Gusarov A.V., Lavrova O.A., Beylich A.A. Channel gradient as a factor in the distribution of beaver dams and ponds on small rivers: A case study in the northern extremity of the Volga Upland, the East European Plain // *Water*. 2023. V. 15. № 13. 2491.
30. Thompson I.D. Habitat Needs of Furbearers in Relation to Logging in Boreal Ontario // *For. Chron.* 1988, № 64, P. 251–261.
31. Westbrook C.J., Cooper D.J., Baker B.W. Beaver assisted river valley formation // *River Res. Appl.* 2011. V. 27. № 2. P. 247–256.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарифуллин Айдар Гамисович

Кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии, Институт экологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

e-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

Sharifullin Aidar Gamisovich

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Ecology of the Institute of Environmental Sciences, Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya St., 18.

e-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

Гусаров Артем Викторович

Кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ “Цифровая Земля”, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

e-mail: avgusarov@mail.ru

Gusarov Artyom Viktorovich

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior researcher, Scientific research center “Digital Earth” of the Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya St., 18.
e-mail: avgusarov@mail.ru