



УДК 556.5 (470.4/.5)  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.17>

## Морфометрические характеристики бобровых плотин и прудов малых рек Волжско-Камского региона

А. В. Гусаров, А. Г. Шарифуллин\*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

**Аннотация.** По результатам полевого обследования и съемки с помощью GNSS-оборудования определены некоторые морфометрические характеристики плотин (длина, высота и их соотношение) и прудов (длина), созданных евразийским бобром (*Castor fiber* L.) в десяти малых реках Волжско-Камского региона. Анализ бобровых плотин показал статистически значимое увеличение их высоты по мере увеличения уклонов русел рек. Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение высот бобровых плотин, составляет 1,45 %. Наибольшие средние высоты бобровых запруд приурочены к рекам, бассейны которых сложены с поверхности преимущественно суглинистыми отложениями, особенно в тех случаях, где сформированные на них почвы мало распаханы. Выявлено также статистически значимое уменьшение длины плотин и прилегающих к ним прудов с ростом уклонов рек. Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение длин бобровых плотин, изменяется от 0,54 до 1,07 % в зависимости от выбранного теста. Для длин прудов это значение составляет от 0,47 до 0,65 %. Рассмотрены внутрирегиональные изменения морфометрии указанных бобровых сооружений. Отмеченные выше особенности соотносятся с ранней стадией расселения *Castor fiber* L. в исследуемых реках.

**Ключевые слова:** *Castor fiber* L., река, речной бассейн, GNSS, Восточно-Европейская равнина.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10087, <https://rscf.ru/project/22-77-10087/> (полевые работы; обработка данных; первичный анализ) и средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания (проект № FZSM-2023-0023) в сфере научной деятельности (статистический анализ данных). Авторы благодарят Г. Шарифуллина, Т. Мансурова, К. Хряка и О. А. Лаврову за помощь в полевых работах, а также доктора географических наук, профессора Р. С. Чалова (МГУ) за ценные рекомендации на этапе подготовки рукописи.

**Для цитирования:** Гусаров А. В., Шарифуллин А. Г. Морфометрические характеристики бобровых плотин и прудов малых рек Волжско-Камского региона // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 50. С. 17–34. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.17>

Original article

## Morphometric Characteristics of Beaver Dams and Ponds in Small Rivers of the Volga-Kama Region, European Russia

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

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation

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

\* Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.

For complete information about the authors, see the last page of the article.

**Abstract.** In this paper, based on the results of a field survey using GNSS equipment, some morphometric characteristics of beaver (*Castor fiber* L.) dams (length, height and their ratio) and ponds (length) in ten small rivers of the Volga-Kama region are determined. Analysis of the beaver dams showed a statistically significant increase in their heights as the slopes of river channels increase. The critical value of the channel slope at which a statistically significant change in the heights of beaver dams occurs is 1.45 %. The greatest average heights of beaver dams are confined to rivers, the basins of which are composed of predominantly loamy sediments on their surfaces, especially in those cases where the soils formed on them are poorly plowed. A statistically significant decrease in the length of beaver dams and their associated ponds with increasing river slopes was also revealed. The critical value of the channel slope at which a statistically significant change in the lengths of beaver dams occurs ranges from 0.54 to 1.07 %, depending on the selected test. For pond lengths, this value ranges from 0.47 to 0.65 %. Intraregional changes in the morphology of these beaver constructions are considered. The features noted above reflect the early stage of settlement of *Castor fiber* L. in the rivers under study.

**Keywords:** *Castor fiber* L., river, river basin, GNSS, East European Plain.

---

**For citation:** Gusarov A.V., Sharifullin A.G. Morphometric Characteristics of Beaver Dams and Ponds in Small Rivers of the Volga-Kama Region, European Russia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 50, pp. 17-34. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.17> (in Russian)

---

## Введение

Бобры обладают уникальной способностью трансформировать водотоки и их пойменно-русловые комплексы посредством сооружения плотин и связанных с ними прудов. Интенсивнее всего они осваивают ручьи и особенно малые реки, а также и небольшие протоки более крупных рек [Gurnell, 1998; Butler, Malanson, 2005; Laland, Boogert, 2010; Westbrook, Cooper, Butler, 2013]. Строительство плотин и заполнение прудов влияет на гидрологический и биохимический режимы водотоков, а также на геоморфологические процессы в их пойменно-русловых комплексах. Поэтому бобров также называют «инженерами экосистем» [Jones, Lawton, Shachak, 1994; Wright, Jones, Flecker, 2002]. Появление бобровых прудов, с одной стороны, приводит к изменению существующих (в том числе преобразованных антропогенной деятельностью) пойменно-русловых комплексов, что, несомненно, создает конфликт с человеком [Andersen, Shafroth, 2010]. С другой стороны, их присутствие приводит к некоторому «оздоровлению» малых рек и их русел, особенно в интенсивно освоенных в сельскохозяйственном отношении регионах [Polvi, Wohl, 2013; Using beaver dams ... , 2014].

В начале прошлого века на огромной территории бывшей Российской империи из-за хищнического промысла бобр как вид находился на грани исчезновения. Небольшие популяции (по 10–15 семей) сохранились в Воронежской области, Западной Сибири, Республике Туве, а также в Белоруссии (общая численность вида составляла менее 1000 животных). В этих местах были созданы специальные бобровые заповедники (Воронежский (1923 г.), Березинский (1925 г.), Кондо-Сосьвинский (1927 г.), а также Азасский бобровый заказник (1962 г.))<sup>1</sup>. В результате реинтродукции к началу 1960-х гг. популяция бобров достигла промыслового уровня. В настоящее время поло-

---

<sup>1</sup> Воронежский государственный природный биосферный заповедник имени В. М. Пескова. URL: <https://zapovednik-vrn.ru/o-zapovednike1/history/istoriya-bobrovogo-pitomnika/> (дата обращения: 25.03.2024).

вина обитающих в России бобров происходит из нынешнего Воронежского государственного природного биосферного заповедника. Поголовье этих животных, благодаря охране и реакклиматизации, ежегодно увеличивалось, и к концу 2022 г. их численность в Приволжском федеральном округе составила около 200 тыс. особей<sup>2</sup>. Ареалом *Castor fiber* L. являются обширные территории в лесной, лесостепной и степной зонах региона.

Большая часть работ по изучению влияния бобров на малые реки проводилась в Канаде, США, Северной Европе [Gurnell, 1998; The geomorphic influences ... , 1998; John, Klein, 2004] и др. Для европейской части России подобные исследования редки [Синицын, Русанов, 1990; Gorshkov, 2003; Башинский, Осипов, 2019; Содержание соединений ... , 2019 и др.]. Строительство плотин приводит к изменению продольного профиля речного русла, усилению боковой (на участках рядом с плотинами) и глубинной (ниже плотин) русловой эрозии, повышенному накоплению наносов, органических веществ и связанных с ними загрязнителей на дне прудов, что приводит к изменению ландшафтов пойменно-русловых комплексов [Channel aggradation ... , 2005; Butler, Malanson, 2005; Pollock, Beechie, Jordan, 2007; Westbrook, Cooper, Baker, 2011].

Среди факторов, оказывающих влияние на строительную деятельность бобров, выделяется прежде всего уклон реки [Allen, 1983]. В равнинных ландшафтах градиенты русла реки обычно невелики и составляют <1,5 % [Factors affecting ... , 2017]. Кертис и Дженсен [Curtis, Jensen, 2004] показали, что используемые бобрами для постройки плотин глина и ил коррелируют с уклоном реки. В качестве компонентов для строительства используются различные материалы. В основании плотин залегает наиболее прочный (базовый) материал – от аллювиальных валунов и обломков коренных пород, вскрывающихся в русле и по берегам рек, до фрагментов затопленных поваленных (бобрами или ветром) деревьев. Поверх этого основания расположен каркас основного тела плотины из огрызков стволов деревьев и веток, кольматированный, как правило, глиной, илом, супесью, листьями, мелкой ветошью, тростником и пр. В качестве кольматационного и даже базового материала иногда выступают предметы, созданные человеком (пластиковые пакеты, покрышки автомобильных шин и т. д.).

Другой фактор, оказывающий влияние на распространение плотин, – это наличие растительности [Jenkins, 1980]. Поскольку бобры предпочитают травянистую растительность [Jenkins, 1980], то условия, связанные с наличием пищи, часто менее важны, чем те, которые связаны с морфолого-морфометрическими характеристиками русла и поймы. Кроме того, на расположение плотин влияет видовой состав растительного покрова [The influence of ... , 2023], а также наличие антропогенных построек [Habitat and structural ... , 2001; Jakes, Snodgrass, Burger, 2007].

---

<sup>2</sup> Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году // М-во природных ресурсов и экологии РФ : офиц. сайт. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/) (дата обращения: 23.12.2023).

Понимание всех этих факторов необходимо для прогнозирования численности бобров и их влияния на окружающую среду, расчета площадей мест обитания других видов, использующих бобровые пруды, и т. д. Не менее важны эти знания и в хозяйственной деятельности человека (оценка баланса водных ресурсов, прогнозирование водопотребления, заиление водоемов и т. п.), что особенно актуально в условиях продолжающегося изменения климата и стока в регионе [Gusarov, 2020]. Признавая растущий интерес к последствиям деятельности бобров [Goldfarb, 2018], а также их возрастающую численность [Halley, Rosell, Saveljev, 2012; Halley, Saveljev, Rosell, 2021] и особенно их способность трансформировать пойменно-русловые комплексы рек [Naiman, Rogers, 1997], мы также решили внести посильный вклад в решение этой проблемы на уровне Волго-Камского региона Восточно-Европейской равнины, который является одним из наиболее восприимчивых к этой деятельности, но в то же время малоизученным. Целью данной работы является выявление особенностей изменения некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и связанных с ними прудов на малых реках указанного региона, в котором это исследование проводится впервые.

### **Территория, объекты и методы исследования**

#### *Территория и объекты исследования*

Полевые исследования проводились в августе – октябре 2022–2023 гг. на десяти малых реках лесной (южная тайга) и лесостепной зон востока Восточно-Европейской равнины (бассейны среднего течения р. Волги и нижнего течения р. Камы (рис. 1, табл. 1)), различающихся протяженностью, уклонами русел, составом приповерхностных пород (почв) и степенью антропогенной трансформации природных ландшафтов их бассейнов (распаханность). Выбор этих рек был обусловлен их геоморфологической репрезентативностью для своего субрегиона и наличием в них бобровой деятельности. Длина рек изменяется от 2,7 до 16,6 км, площадь бассейнов – от 3,1 до 86,9 км<sup>2</sup>. Водное питание – смешанное, с превалированием снегового, в связи с чем преобладающая доля годового стока воды приходится на весеннее половодье (март – апрель).

Крутые правые склоны долины рек сложены коренными породами – в нижней части преимущественно известняками и песчаниками верхней перми, которые перекрываются коричнево-бурыми делювиально-солифлюкционными суглинками, местами с обилием щебня (реки Морквашинка, Морквашка, Каракашлы, Заумят, Салаяз и Айгильдинка), четвертичными флювиогляциальными песками (Песчанка, Бродовка и Кусер) и триасовыми песками (Ацвеж). В долинах изученных рек поймы морфологически выражены небольшими фрагментами (например, в долине р. Морквашинки); низкая (раннеголоценовая) речная терраса морфологически выражена более крупными массивами. Бассейны изученных рек представляют две природные (ландшафтные) зоны Восточно-Европейской равнины – лесную (южную тайгу) и лесостепную. Естественная растительность представлена елово-пихтово-сосновыми (юг лесной зоны) и липово-дубовыми лесами с примесью клена, бука и вяза, чередующимися с разнотравно-злаковыми пастбищными лугами (лесостепная зона) [Ландшафты Республики Татарстан ... , 2007; Атлас Кировской области, 1997].

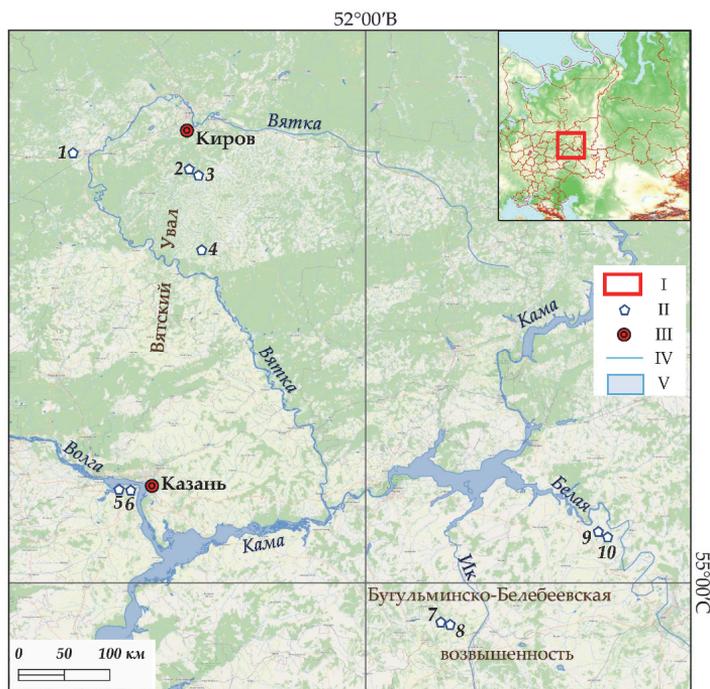


Рис. 1. Расположение изученных малых рек в регионе исследования.

I – расположение региона исследования на Восточно-Европейской равнине;

II – расположение устьев изученных малых рек в регионе исследования;

I – Ацвеж, 2 – Песчанка, 3 – Бродовка, 4 – Кусер, 5 – Морквашка, 6 – Морквашинка, 7 – Каракашлы, 8 – Заумят, 9 – Салаяз, 10 – Айгильдинка (координаты устьев рек даны в табл. 1);

III – некоторые административные центры; IV – реки; V – водохранилища и озера

Таблица 1

Геодезические координаты устьев изученных малых рек

| Реки        | Геодезические координаты, град. |             |
|-------------|---------------------------------|-------------|
|             | Широта                          | Долгота     |
| Ацвеж       | 58,27730517                     | 48,02137093 |
| Песчанка    | 58,25902658                     | 49,88532696 |
| Бродовка    | 58,24867556                     | 49,93813719 |
| Кусер       | 57,54595759                     | 49,85481140 |
| Морквашка   | 55,78247276                     | 48,79267707 |
| Морквашинка | 55,77880625                     | 48,85258569 |
| Каракашлы   | 54,67547755                     | 53,23720905 |
| Заумят      | 54,65804955                     | 53,24304844 |
| Салаяз      | 55,37277285                     | 55,15120169 |
| Айгильдинка | 55,37082866                     | 55,19192755 |

Из-за малой эффективности сельского хозяйства большая часть пашни, особенно в лесной зоне, в последние десятилетия заброшена [Gusarov, 2021]. Низкая распаханность почв в настоящее время наблюдается и в ряде бассейнов рек севера лесостепной зоны, хотя большая часть бассейнов рек этой зоны интенсивно используется в сельском хозяйстве. Исследуемые реки про-

текают в следующих административных регионах европейской части России: Республика Татарстан (реки Морквашинка и Морквашка (Верхнеуслонский р-н), Каракашлы и Заумят (Ютазинский р-н)), Республика Башкортостан (р. Салаяз и ее приток Айгильдинка (Бирский р-н)) и Кировская область (реки Ацвеж (Котельничский р-н), Песчанка и Бродовка (Куменский р-н) и Кусер (Нолинский р-н)).

#### *Полевые работы*

Продольное профилирование рек проводилось методом спутникового позиционирования (GNSS-приемник). В качестве оборудования для данного типа съемки был выбран приемник нового поколения Trimble R12i, который хорошо адаптирован к условиям высокой густой растительности и расчлененного рельефа. Профильная съемка рек проводилась в режиме Radio RTK, главной особенностью которого является использование двух приемников: Trimble R10 (базовая станция) и Trimble 12 (ровер). Базовая станция 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, при удалении от базовой станции не более 2 км, стандартное отклонение полученных координат составило в среднем не более 15 мм в плане и не более 20 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 и верхнего бьефов бобровых плотин и пр. Дополнительно высота ( $h$ ) и длина ( $D$ ) бобровых плотин определялись с помощью геодезической вешки и рулетки соответственно. Высота плотин измерялась от подножия нижнего борта плотины в тальвеге русла до уровня максимальной высоты, длина – по ее гребню. 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 [A comparative study ... , 2015; Monitoring, modelling ... , 2022; Testing a novel ... , 2023; Channel Gradient ... , 2023].

Всего в ходе работ нами было зафиксировано 256 бобровых плотин и связанных с ними прудов. Все они были учтены при оценке их пространственного распределения по рекам. Однако, оценивая их морфометрические показатели, было использовано лишь 212 плотин и прудов, поскольку условия для их морфометрических измерений в ряде случаев были сложными прежде всего из-за высокой локальной заболоченности днищ долин малых рек.

#### *Камеральные работы*

В камеральных условиях полевые данные, полученные в ходе геодезической съемки (горизонтальные и высотные отметки) с использованием GNSS-оборудования, загружались в программное обеспечение Trimble Business Center, 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.

Помимо вышеприведенных характеристик, были определены следующие количественные и качественные показатели, относящиеся к исследуемым рекам и их бассейнам (табл. 2): длина реки  $\bar{L}$  от истока (включая, как правило, небольшую сухую долину в ее верховьях) до устья, рассчитанная по результатам полевых исследований; площадь бассейна реки  $F$ , определяемая по цифровым моделям рельефа SRTM<sup>3</sup> путем выделения линий водораздела; средняя высота бассейна реки  $H$ , определенная по данным SRTM; падение реки  $\Delta H$  – разница между максимальной и минимальной абсолютными отметками урезов воды реки, полученными в полевых условиях; уклон реки  $i$ , рассчитываемый как отношение падения  $\Delta H$  реки к ее длине  $\bar{L}$ ; средний годовой слой стока в бассейне реки  $Y^4$ ; преобладающие породы Lit, слагающие поверхность бассейна реки, согласно геологической карте дочетвертичных и четвертичных отложений<sup>5</sup>; доля обрабатываемых (без учета заброшенных) земель –  $Ant$  – в общей площади бассейна реки.

Таблица 2

Некоторые характеристики изученных малых рек и их бассейнов

| Реки        | Характеристики |                       |         |                |         |          |         |        |
|-------------|----------------|-----------------------|---------|----------------|---------|----------|---------|--------|
|             | $\bar{L}$ , км | $F$ , км <sup>2</sup> | $H$ , м | $\Delta H$ , м | $i$ , % | $Y$ , мм | Lit     | Ant, % |
| Ацвеж       | 5,1*           | 29,9                  | 151     | 9,8            | 0,19    | 202      | П, Г, А | 19     |
| Песчанка    | 6,1            | 9,2                   | 168     | 33,6           | 0,55    | 212      | П       | 3      |
| Бродовка    | 12,5           | 34,5                  | 164     | 50,7           | 0,41    | 212      | С, Щ, П | 31     |
| Кусер       | 7,5            | 13,2                  | 182     | 159,3          | 2,13    | 208      | П, С, Щ | 0      |
| Морквашка   | 7,8            | 20,4                  | 165     | 154,4          | 1,98    | 140      | С, И    | 3      |
| Морквашинка | 16,6           | 86,9                  | 152     | 152,1          | 0,92    | 140      | С, И    | 20     |
| Каракашлы   | 6,9            | 19,7                  | 239     | 136,6          | 1,98    | 122      | С, И    | 43     |
| Заумят      | 4,3            | 6,9                   | 252     | 167,9          | 3,90    | 122      | С, И    | 32     |
| Салаяз      | 7,7            | 22,6                  | 161     | 66,0           | 0,86    | 100      | С, И    | 42     |
| Айгильдинка | 2,7            | 3,1                   | 175     | 59,3           | 2,20    | 100      | С, П, И | 22     |

\*Труднопроходимые (заболоченные) участки днища долины (главным образом поймы) р. Ацвеж в верхнем и нижнем ее течениях не позволили провести полевою геодезическую съемку всей ее длины (более 35 км), поэтому эти участки достраивались по топографическим картам масштаба 1:50 000. В табл. приведены количественные характеристики лишь для изученного участка (5,1 км) данной реки в нижней части ее верхнего течения. Преобладающие горные породы на поверхности бассейна реки: П – песок, Г – глина, А – алевролит, С – суглинок, Щ – щебень, И – известняк.

### Статистический анализ данных

В исследовании использовался стандартный набор описательной статистики. Для определения различий в полученных средних применялся  $t$ -тест Стьюдента. Для выявления тенденций и их статистической значимости в рядах данных был применен тест Манна – Кендалла (Mann-Kendall). Эти ряды предварительно проверялись на однородность (тест Петтитта (Pettitt) и тест Буйшанда (Buishand)) и гетероскедастичность (тест Уайта (White)). Все вышеуказанные статистические процедуры проводились с использованием аналитического приложения XLSTAT 2016.02.28451 для Microsoft Excel.

<sup>3</sup> Цифровые модели рельефа 30m-SRTM. URL: <https://www.dwtkns.com/srtm30m/> (дата обращения: 14.03.2024).

<sup>4</sup> Геопортал «Речные бассейны Европейской России». URL: <https://bassepr.kpfu.ru/> (дата обращения: 24.03.2024).

<sup>5</sup> Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации. ГИС-Атлас «Недра России». URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#d76db980f068f9c018> (дата обращения: 23.12.2023).

## Результаты и обсуждение

По совокупности полученных данных (по 212 объектам), по всем исследованным малым рекам наблюдается тенденция увеличения высоты бобровых плотин ( $h$ ) по мере увеличения уклонов их русел (статистически значимый положительный линейный тренд ( $p = 0,002$ ;  $\tau$  Кендалла = 0,144)) (рис. 2). Критическое значение уклона русла ( $i$ ), при котором происходит статистически значимое изменение («мутация») высот бобровых плотин, составляет 1,45 % по тестам Петтитта ( $p = 0,019$ ) и Буйшанда ( $p = 0,012$ ).

Наблюдается тенденция уменьшения длины плотин ( $D$ ) по мере увеличения уклонов (статистически значимый отрицательный линейный тренд ( $p = 0,021$ ;  $\tau$  Кендалла = -0,107)) (см. рис. 2). Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение («мутация») длин бобровых плотин, составляет 1,07 % (по тесту Петтитта;  $p = 0,025$ ) или 0,54 % (по тесту Буйшанда;  $p = 0,044$ ). Плановая форма бобровых плотин во многом зависит от скорости течения реки: если скорость течения относительно небольшая, то плотины сооружаются, как правило, почти прямолинейными; увеличение скоростей потока приводит к увеличению криволинейности формы сооружаемых плотин с целью повышения их устойчивости, особенно в половодья и сильные паводки. Кривая форма плотин несколько увеличивает их длину относительно плотин прямолинейных. По мере увеличения уклонов русел рек прослеживается и общее уменьшение индекса  $D/h$ , характеризующего отношение длины бобровой плотины к ее высоте (статистически значимый отрицательный линейный тренд ( $p = 0,0001$ ;  $\tau$  Кендалла = -0,202)) (см. рис. 2). Критическое значение уклона русла, при котором отмечается статистически значимое изменение («мутация») индекса  $D/h$ , составляет 0,98 % по тестам Петтитта и Буйшанда ( $p = 0,000$ ).

Выявлена также тенденция уменьшения длин бобровых прудов ( $L$ ) по мере увеличения уклонов русел рек (статистически значимый отрицательный линейный тренд ( $p = 0,00001$ ;  $\tau$  Кендалла = -0,383)) (см. рис. 2). Критическое значение уклона русла, при котором отмечается статистически значимое изменение («мутация») длин бобровых прудов, составляет 0,65 % (по тесту Петтитта;  $p < 0,0001$ ) или 0,47 % (по тесту Буйшанда;  $p < 0,0001$ ). Все четыре ряда зависимости  $h$ ,  $D$ ,  $D/h$  и  $L$  от уклона русла  $i$  (см. рис. 2) являются гетерогенными (по тестам Петтитта и Буйшанда) и гетероскедастичными (по тесту Уайта).

Отмеченные изменения вышеуказанных морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов при смене уклонов рек вполне ожидаемы. На участках рек со сравнительно большими уклонами, при формировании пруда, пригодного для жизнедеятельности бобровой семьи, этими животными сооружаются более высокие плотины, что и подтверждается общей тенденцией увеличения их высот с ростом уклонов (см. рис. 2).

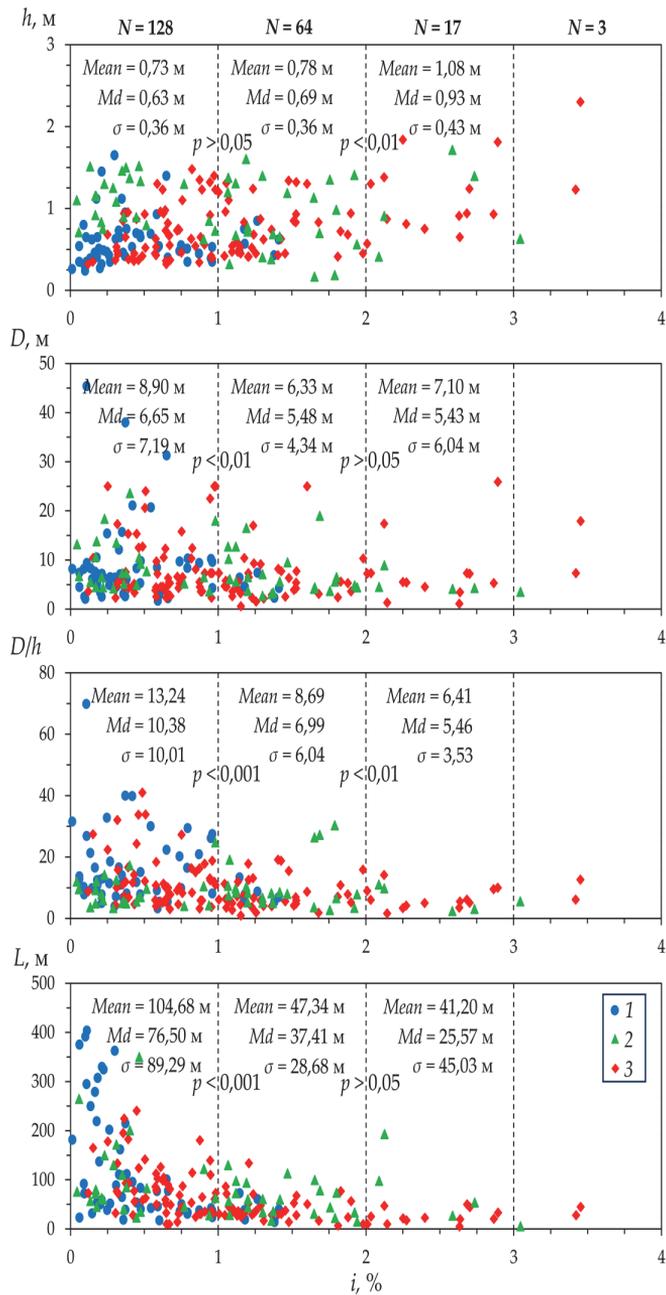


Рис. 2. Изменения высоты ( $h$ ) и длины ( $D$ ) бобровых плотин и их соотношения ( $D/h$ ), а также длины бобровых прудов ( $L$ ), в исследованных малых реках вследствие изменения уклонов последних ( $i$ ).  $N$  – общее количество плотин или прудов в соответствующей подкатегории уклона реки;  $Mean$  – среднее значение;  $Md$  – медиана;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $p$  – статистическая вероятность ( $t$ -тест) различия между средними в соседних подкатегориях уклона реки (0–1, 1–2, 2–3 %). Фигурами разного цвета изображены параметры плотин и прудов на следующих изученных реках: 1 – бассейна р. Вятки; 2 – северной оконечности Приволжской возвышенности; 3 – Бугульминско-Белебеевской возвышенности

Большая высота бобровых плотин в среднем и верхнем течениях реки обусловлена также большей сезонной изменчивостью уровня воды в реке, чем в ее нижнем течении. С другой стороны, в низовьях рек, где отмечаются наименьшие уклоны русел, водоносность и ширина водотоков является, как правило, наибольшей, что обуславливает постройку бобрами наиболее длинных запруд для заполнения прудов. Этот вывод подтверждается статистически значимым увеличением средней длины плотин на малых реках при уклонах менее 1 % (см. рис. 2). Выше по течению, по мере увеличения уклонов русла, длина плотин, как правило, уменьшается, что связано прежде всего с сужением самого русла за счет его более глубокого вертикального врезания в подрусловые породы (особенно в средних течениях рек).

Увеличение протяженности бобровых прудов с уменьшением уклонов, особенно при уклонах менее 1 % (см. рис. 2), также имеет физическое обоснование: при равной средней высоте бобровых плотин, при низких уклонах реки формируются поверхности прудов большие по длине и площади, чем при более высоких уклонах, согласно закону тригонометрии. Если и встречаются исключения, то они обусловлены локальными причинами.

Отмечается влияние состава поверхностных пород речных бассейнов на высоту бобровых плотин. Так, наибольшая средняя высота плотин приурочена к речным бассейнам, сложенным с поверхности преимущественно суглинками (рис. 3, а). Она статистически значимо (в среднем на 44 %) отличается от средней высоты плотин в речных бассейнах, сложенных с поверхности преимущественно песками. Что касается длины бобровых плотин, то такого же явного влияния состава пород речных бассейнов нами не выявлено. В тех «суглинистых» речных бассейнах, где распаханность почв составляет менее 30 % от площади их междуречий, высота плотин статистически значимо выше (в среднем на 28 %), чем в речных бассейнах с распаханностью более 30 % (рис. 3, б). При сравнении средних длин бобровых плотин статистически значимые различия не выявлены, хотя несколько большие длины плотин характерны также для бассейнов рек с распаханностью почв менее 30 % (рис. 3, б).

Влияние геологического (литологического) строения поверхности речного бассейна на морфометрические характеристики бобровых плотин в нем находит объяснение, скорее всего, через перераспределение поверхностных талых и дождевых вод. Чем более суглинистым является состав пород (почв), слагающих поверхность речного бассейна, тем выше, при прочих равных условиях, неравномерность распределения речного стока в течение года [Дедков, Мозжерин, 1984; Голосов, 2006] и, следовательно, больше потребность у бобров в строительстве более высоких плотин, чем на реках, бассейны которых сложены с поверхности преимущественно гранулометрически более легкими породами (почвами), прежде всего песчаными, лучше фильтрующими поверхностный сток. Влияние литологического фактора на длину бобровых плотин не имеет статистической значимости (рис. 3, а). Некоторое статистически незначимое превышение средней длины плотин в «песчаных» бассейнах над средней длиной плотин в «суглинистых» бассей-

нах (см. рис. 3, а) связано, по-видимому, с особенностями боковой эрозии рек, особенно в приплотинных их участках: при прочих равных условиях песчаные отложения речных пойм (террас) размываются интенсивнее, чем суглинистые. Следовательно, это сказывается на наращивании в длину бобрами своих плотин. Данную гипотезу необходимо проверить на большем материале. Более того, помимо вышесказанного, важно учитывать расположение бобровых сооружений относительно макрорельефа русла и его элементов (относительно прямолинейное русло, извилистое русло и его элементы и т. д.) (рис. 4), что также сказывается на морфометрии выстроенных в них бобровых плотин и прудов.

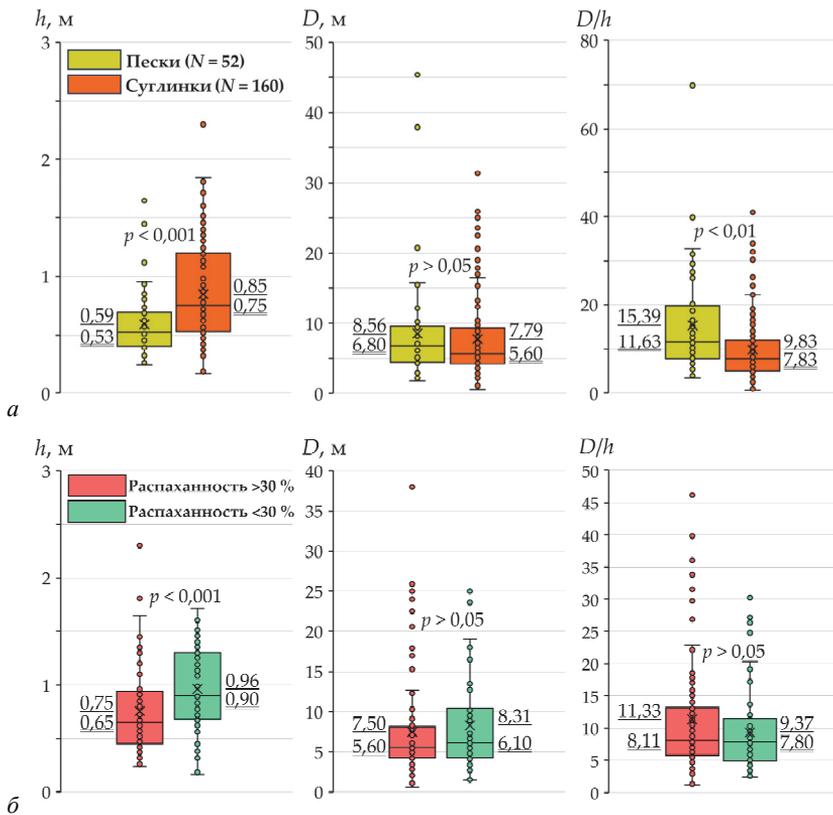


Рис. 3. Ящикограммы изменений средней высоты ( $h$ ) и длины ( $D$ ) бобровых плотин, а также их соотношения ( $D/h$ ) в изученных малых реках с бассейнами, сложенными с поверхности преимущественно либо песчаными, либо суглинистыми породами (почвами) (диаграммы ряда (а)). Диаграммы ряда (б) показывают изменения данных морфометрических характеристик только в речных бассейнах, сложенных с поверхности преимущественно суглинистыми породами и почвами с разной степенью их распаханности (<30 % ( $N = 60$ ) и >30 % ( $N = 120$ )).

Подчеркнутые значения являются средними; значения, подчеркнутые дважды, являются медианными;  $p$  – статистическая вероятность ( $t$ -тест) различия между средними;  $N$  – количество исследованных бобровых плотин



*Рис. 4.* Примеры расположения бобровых плотин в пойменно-русловом комплексе долины нижнего течения р. Салаяз (фотографии А. В. Гусарова от 15 октября 2023 г.); *а* – в сравнительно прямолинейном русле, между высокими поймами реки; *б* – близ шейки меандра реки, между ее высокой и низкой поймами; *в* – ниже вершины излучины (ниже плессовой ложбины русла) реки; *г* – между низкой поймой и подмываемым коренным правым склоном, сложенным пермскими породами

Что касается выявленной большей средней высоты бобровых плотин в малых реках с «суглинистыми» бассейнами, почвы которых сравнительно слабо распаханы (< 30 %) (см. рис. 3, *б*), то мы предполагаем, что одной из причин этого является несколько большая глубина врезания русел таких рек, менее насыщенных транспортируемыми наносами, и сравнительно слабое их заиление. Последние обстоятельства связаны с меньшей массой наносов, поступающих в эти реки со сравнительно небольшой площади эродированных земель в их бассейнах (прежде всего с пахотных земель).

Выявлены изменения морфометрических характеристик бобровых плотин и связанных с ними прудов при изменениях среднего многолетнего годового объема стока воды рек. Поскольку на всех исследованных нами малых реках стационарные гидрометрические наблюдения не проводились и не проводятся, указанный гидрологический показатель мы вывели из среднего многолетнего слоя стока воды на соответствующих территориях с учетом известной площади данных речных бассейнов. Статистически значимой оказалась лишь прямая зависимость между речным стоком и средней длиной бобровых прудов (рис. 5), т. е. наибольшая средняя длина бобровых прудов характерна для рек с наибольшей водоносностью – реки Морквашинка, Бродовка и Ацвеж. Необходимо понимать, что эта связь не прямая по своей сути, а опосредованная: при прочих равных условиях, чем больше средний го-

довой объем стока воды реки, тем меньше средние уклоны русла она формирует в ходе своей длительной эволюции и более длинные бобровые пруды она имеет сейчас.

В распределении указанных выше количественных характеристик бобровых плотин и прудов прослеживается некоторая внутрорегиональная дифференциация. Мы рассмотрели этот вопрос на примере участков рек с уклонами менее 1 %. Наибольшая средняя высота бобровых плотин соответствует рекам северной оконечности Приволжской возвышенности (усредненно по рекам Морквашка и Морквашинка;  $1,09 \pm 0,12$  м) и статистически значимо ( $p < 0,001$ ) отличается от изученных рек других субрегионов (от  $0,60 \pm 0,05$  м в бассейне р. Вятки до  $0,74 \pm 0,09$  м в реках Салаяз и Айгильдинка). Наибольшая средняя длина бобровых плотин выявлена в изученных реках бассейна р. Вятки ( $9,38 \pm 2,18$  м), характеризующихся наименьшими средними уклонами. В этом случае, однако, разница между этой длиной и средними длинами бобровых плотин на реках других субрегионов (от  $7,83 \pm 2,02$  м в реках Каракашлы и Заумят до  $9,13 \pm 2,18$  м в реках Морквашка и Морквашинка) статистически незначима ( $p > 0,05$ ). Что касается длины бобровых прудов, то ее максимум также приходится на исследованные малые реки бассейна р. Вятки ( $128,1 \pm 32,8$  м). Этот максимум имеет статистически значимое ( $p < 0,001$ ) отличие (в 2,8 раза) только лишь по отношению к средней длине бобровых прудов в изученных малых реках, протекающих в западно-центральной части Бугульминско-Белебеевской возвышенности (реки Каракашлы и Заумят;  $46,2 \pm 18,8$  м) и характеризующихся наибольшими средними уклонами русел.

### Закключение

Анализ морфометрических характеристик бобровых плотин показывает статистически значимую тенденцию увеличения их высот по мере увеличения уклонов изученных малых рек. Выявлены также статистически значимые тенденции уменьшения длины этих плотин и длины связанных с ними прудов при увеличении уклонов рек. Примечательно, что критические значения уклонов рек для статистически значимого и относительно резкого изменения этих параметров составляют 1,45, 1,07 (или 0,54) и 0,65 (или 0,47) %

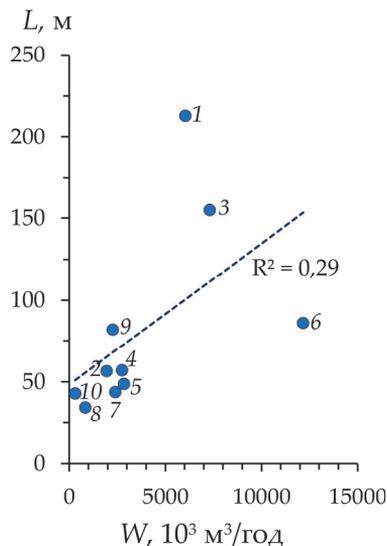


Рис. 5. Изменение средней длины бобровых прудов ( $L$ ) при изменении среднего многолетнего годового объема стока воды ( $W$ ) изученных малых рек. Согласно тесту Манна – Кендалла, параметры линейного тренда (пунктирная линия) следующие:  $p = 0,029$ ;  $\tau$  Кендалла = 0,556. 1, 2, 3... – нумерация изученных малых рек согласно рис. 1

соответственно. Наибольшие средние высоты бобровых запруд приурочены к тем малым рекам, бассейны которых сложены преимущественно суглинистыми породами и почвами (особенно слабо распаханнами) по сравнению с преимущественно «песчаными» речными бассейнами. Эта закономерность связана, скорее всего, с особенностями соотношения поверхностного и подземного стока воды в этих бассейнах и, как следствие, с различной интенсивностью половодного и паводкового стоков, вызванных, соответственно, таянием снегов и дождями. Мы предполагаем, что указанные особенности отражают ранние этапы расселения (роста численности) *Castor fiber* L. в изученных реках.

Дальнейшие работы по данной тематике планируется сфокусировать по следующим трем направлениям: 1) расширение количества анализируемых малых рек, прежде всего за счет тех, что протекают в степной зоне региона исследования; это позволит проследить влияние зональных и азональных факторов на изменения изученных морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов; 2) анализ влияния макрорельефа русел малых рек на указанные характеристики; 3) анализ влияния «внутридолинных» факторов (изменения прибрежной растительности, морфологии и морфометрии пойм и пр.) на указанные характеристики вдоль малых рек.

### Список литературы

Атлас Кировской области / под ред. Л. Л. Лаврова. Екатеринбург : Роскартография, 1997. 32 с.

Башинский И. В., Осипов В. В. Скорость осаждения и химический состав взвешенного вещества в бобровых водоемах на территории заповедника «Приволжская лесостепь» (Европейская Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Т. 4, № 3. С. 54–66.

Голосов В. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М: ГЕОС, 2006. 296 с.

Дедков А. П., Мозжерин В. И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.

Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / О. П. Ермолаев, М. Е. Игонин, А. Ю. Бубнов, С. В. Павлова. Казань : Слово, 2007. 411 с.

Синицын М. Г., Русанов А. В. Влияние деятельности речного бобра на рельеф долин и русел малых рек Ветлужско-Унженского полесья // Геоморфология. 1990. № 1. С. 85–91.

Содержание соединений биогенных элементов в лесостепных водотоках и водоемах при заселении их бобрами (*Castor fiber* L.) / Е. А. Кацман, А. Л. Суздалева, В. В. Осипов, И. В. Башинский // Российский журнал биологических инвазий. 2019. Т. 12, № 4. С. 50–62.

A comparative study for accuracy assessment of PPP technique using GPS and GLONASS in urban areas / R. Alkan, V. İlçi, I. M. Ozulu, M. H. Saka // Measurement. 2015. Vol. 69. P. 1–8.

Allen A. W. Habitat suitability index models: Beaver, FWS/OBS-82. Washington, DC : U. S. Fish and Wildlife Service, 1983. P. 1–20.

Andersen D. C., Shafroth P. B. Beaver dams, hydrological thresholds, and controlled floods as a management tool in a desert riverine ecosystem, Bill Williams River, Arizona // Ecohydrology. 2010. Vol. 3, N 3. P. 325–338.

Butler D. R., Malanson G. P. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams // Geomorphology. 2005. Vol. 71, N 1–2. P. 48–60.

Channel aggradation by beaver dams on a small agricultural stream in Eastern Nebraska / M. C. McCullough, J. L. Harper, D. E. Eisenhauer, M. G. Dosskey // Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2005. Vol. 67. P. 107–118.

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 / A. G. Sharifullin, A. V. Gusarov, O. A. Lavrova, A. A. Beylich // *Water*. 2023. Vol. 15, N 13. P. 2491.

Curtis P. D., Jensen P. G. Habitat features affecting beaver occupancy along roadsides in New York state // *J. Wildl. Manage.* 2004. Vol. 68, N 2. P. 278–287.

Factors affecting abundance of beaver dams in forested landscapes / M. L. St-Pierre, J. Labbé, M. Darveau [et al.] // *Wetlands*. 2017. Vol. 37. P. 941–949.

Goldfarb B. Eager: The surprising, secret life of beavers and why they matter. Chelsea Green Publishing, 2018. 304 p.

Gorshkov D. Is it possible to use beaver building activity to reduce lake sedimentation? // *Lutra*. 2003. Vol. 46. P. 189–196.

Gurnell A. M. The hydrogeomorphological effects of beaver dam-building activity // *Prog. Phys Geogr*. 1998. Vol. 22. P. 167–189.

Gusarov A. V. The response of water flow, suspended sediment yield and erosion intensity to contemporary long-term changes in climate and land use/cover in river basins of the Middle Volga Region, European Russia // *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 719. 134770.

Gusarov A. V. Land-use/cover changes and their effect on soil erosion and river suspended sediment load in different landscape zones of European Russia during 1970–2017 // *Water*. 2021. Vol. 13. 1631.

Habitat and structural factors influencing beaver interference with highway culverts / P. G. Jensen, P. D. Curtis, M. E. Lehnert, D. L. Hamelin // *Wildl. Soc. Bull.* 2001. Vol. 29. № 2. P. 654–664.

Halley D., Rosell F., Saveljev A. Population and distribution of Eurasian beaver (*Castor fiber*) // *Balt. For.* 2012. Vol. 18, N 1. P. 168–175.

Halley D. J., Saveljev A. P., Rosell F. Population and distribution of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* in Eurasia // *Mamm. Rev.* 2021. Vol. 51, N 1. P. 1–24.

Jakes A. F., Snodgrass J. W., Burger J. *Castor canadensis* (Beaver) impoundment associated with geomorphology of southeastern streams // *Southeastern Naturalist*. 2007. Vol. 6, N 2. P. 271–282.

Jenkins S. H. A size-distance relation in food selection by beavers // *Ecology*. 1980. Vol. 61, N 4. P. 740–746.

John S., Klein A. Hydrogeomorphic effects of beaver dams on floodplain morphology: avulsion processes and sediment fluxes in upland valley floors (Spessart, Germany) // *Quaternaire*. 2004. Vol. 15, N 1. P. 219–231.

Jones C. G., Lawton J. H., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers // *Oikos*. 1994. Vol. 69. P. 373–386.

Laland K. N., Boogert N. J. Niche construction, co-evolution and biodiversity // *Ecological economics*. 2010. Vol. 69, N 4. P. 731–736.

Monitoring, modelling and managing beaver (*Castor fiber*) populations in the River Otter catchment, Great Britain / H. A. Graham, A. Puttock, J. Chant [et al.] // *Ecological Solutions and Evidence*. 2022. Vol. 3, N 3. P. e12168.

Naiman R. J., Rogers K. H. Large animals and system-level characteristics in river corridors // *Bioscience*. 1997. Vol. 47, N 8. P. 521–529.

Testing a novel sonar-based approach for measuring water depth and monitoring sediment storage in beaver ponds / G. Bradbury, A. Puttock, G. Coxon [et al.] // *River Res. Appl.* 2023. Vol. 39, N 2. P. 266–273.

The geomorphic influences of burrowing beavers on streambanks, Bolin Creek, North Carolina / R. K. Meentemeyer, J. B. Vogler, C. Hill, D. R. Butler // *Zeitschrift fur Geomorphologie*. 1998. Vol. 42. P. 453–468.

The Influence of Eurasian Beaver (*Castor fiber* L.) Activity on the transformation and functioning of riparian phytocoenoses in the southern boreal zone (European Russia) / N. G. Nazarov, V. E. Prokhorov, A. G. Sharifullin [et al.] // *Earth*. 2023. Vol. 4, N 2. P. 384–397.

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. Vol. 32, N 8. P. 1174–1185.

Polvi L. E., Wohl E. Biotic drivers of stream planform: implications for understanding the past and restoring the future // *Bioscience*. 2013. Vol. 63, N 6. P. 439–452.

Using beaver dams to restore incised stream ecosystems / M. M. Pollock, T. J. Beechie, J. M. Wheaton [et al.] // *Bioscience*. 2014. Vol. 64, N 4. P. 279–290.

Westbrook C. J., Cooper D. J., Baker B. W. Beaver assisted river valley formation // *River Res. Appl.* 2011. Vol. 27, N 2. P. 247–256.

Westbrook C. J., Cooper D. J., Butler D. R. Beaver Hydrology and Geomorphology. Treatise on Geomorphology / ed. by J. F. Shroder. Amsterdam : Elsevier Academic Press, 2013. P. 293–306.

Wright J. P., Jones C. G., Flecker A. S. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale // *Oecologia*. 2002. Vol. 132. P. 96–101.

## References

*Atlas Kirovskoi oblasti* [Atlas of the Kirov Oblast]. Ed. by L.L. Lavrov. Ekaterinburg, Ural Cartographic Factory of Roscartography Publ., 1997, 32 p. (in Russian)

Bashinskiy I.V., Osipov V.V. Skorost osazhdeniya i khimicheskii sostav vzveshennogo veshchestva v bobrovyykh vodoemakh na territorii zapovednika “Privolzhskaya lesostep” (Evropeiskaya Rossiya) [Sedimentation rate of suspended matter and its chemical composition in beaver water bodies in the State Nature Reserve “Privolzhskaya lesostep” (European Russia)]. *Nature Conservation Research*, 2019, vol. 4, no. 3, pp. 54-66 (in Russian).

Golosov V.N. *Eroziionno-akkumulyativnye protsessy v rechnykh basseynakh osvoennykh ravnin* [Erosion and deposition processes in river basins of cultivated plains]. Moscow, GEOS Publ., 2006, 296 p. (in Russian)

Dedkov A.P., Mozzherin, V.I. *Eroziya i stok nanosov na Zemle* [Erosion and Sediment Yield on the Earth]. Kazan, Kazan University Publ., 1984, 264 p. (In Russian)

Ermolaev O.P., Igonin M.E., Bubnov A.Yu., Pavlova S.V. *Landshafty Respubliki Tatarstan. Regional'nyy landshaftno-ekologicheskii analiz*. [Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape-ecological analysis]. Kazan, Slovo Publ., 2007. 411 p. (in Russian)

Sinityn M.G., Rusanov A.V. Vliyanie deyatel'nosti rechnogo bobra na rel'ef dolin i rusel malykh rek Vetluzhsko-Unzhenskogo poles'ya [European Beaver Impact on Small Rivers Valley and Channel Relief in the Vetluga-Unzha Woodlands]. *Geomorfologiya*, 1990, vol. 1, pp. 85-91. (In Russian)

Katsman E.A., Suzdaleva A.L. Osipov V.V., Bashinskiy I.V. *Soderzhanie soedinenii biogenykh elementov v lesostepnykh vodotokakh i vodoemakh pri zaselenii ikh bobrami (Castor fiber L.)* [Concentrations of Biogenic Compounds in Forest-Steppe Water Bodies and Streams Inhabited by Beavers (*Castor fiber L.*)]. *Russ. J. Biol. Invasions*, 2019, vol. 12, no. 4, pp. 50-62. (in Russian)

Alkan R., Ilçi V., Ozulu I.M., Saka M.H. A comparative study for accuracy assessment of PPP technique using GPS and GLONASS in urban areas. *Measurement*, 2015, vol. 69, pp. 1–8.

Allen A.W. *Habitat suitability index models: Beaver, FWS/OBS-82*. Washington, DC, U.S. Fish and Wildlife Service, 1983, 20 p.

Andersen D.C., Shafroth P.B. Beaver dams, hydrological thresholds, and controlled floods as a management tool in a desert riverine ecosystem, Bill Williams River, Arizona. *Ecohydrology*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 325–338.

Butler D.R., Malanson G.P. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams. *Geomorphology*, 2005, vol. 71, no. 1-2, pp. 48-60.

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. *Journal of the ASABE*, 2005, vol. 67, pp. 107-118.

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, vol. 15, no. 13, pp. 2491.

Curtis P.D., Jensen P.G. Habitat features affecting beaver occupancy along roadsides in New York state. *J. Wildl. Manage.*, 2004, vol. 68, no. 2, pp. 278-287.

St-Pierre M.L., Labbé J., Darveau M., Imbeau L., Mazerolle M. J. Factors affecting abundance of beaver dams in forested landscapes. *Wetlands*, 2017, vol. 37, pp. 941-949.

Goldfarb B. *Eager: The Surprising, Secret Life of Beavers and Why They Matter*; Chelsea Green Publishing, 2018, 304 p.

- Gorshkov D. Is it possible to use beaver building activity to reduce lake sedimentation? *Lutra*, 2003, vol. 46, pp. 189-196.
- Gurnell A.M. The hydrogeomorphological effects of beaver dam-building activity. *Prog. Phys. Geogr.*, 1998, vol. 22, pp. 167-189.
- Gusarov A.V. The response of water flow, suspended sediment yield and erosion intensity to contemporary long-term changes in climate and land use/cover in river basins of the Middle Volga Region, European Russia. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 719, 134770.
- Gusarov A.V. Land-use/cover changes and their effect on soil erosion and river suspended sediment load in different landscape zones of European Russia during 1970–2017. *Water*, 2021, vol. 13, 1631.
- Jensen P.G., Curtis P.D., Lehnert M.E., Hamelin D.L. Habitat and structural factors influencing beaver interference with highway culverts. *Wildl. Soc. Bull.*, 2001, vol. 29, no. 2, pp. 654-664.
- Halley D., Rosell F., Saveljev A. Population and distribution of Eurasian beaver (*Castor fiber*). *Balt. For.*, 2012, vol. 18, no. 1, pp. 168-175.
- Halley D.J., Saveljev A., Rosell F. Population and distribution of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* in Eurasia. *Mamm. Rev.*, 2021, vol. 51, no. 1, pp. 1-24.
- Jakes A.F., Snodgrass J.W., Burger J. *Castor canadensis* (Beaver) impoundment associated with geomorphology of southeastern streams. *Southeastern Naturalist*, 2007, vol. 6, no. 2, pp. 271-282.
- Jenkins S.H. A size-distance relation in food selection by beavers. *Ecology*, 1980, vol. 61, no. 4, pp. 740-746.
- John S., Klein A. Hydrogeomorphic effects of beaver dams on floodplain morphology: avulsion processes and sediment fluxes in upland valley floors (Spessart, Germany). *Quaternaire*, 2004, vol. 15, no. 1, pp. 219-231.
- Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 1994, vol. 69, pp. 373-386.
- Laland K.N., Boogert N.J. Niche construction, co-evolution and biodiversity. *Ecological economics*, 2010, vol. 69, no. 4, pp. 731-736.
- 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, vol. 3, no. 3, pp. e12168.
- Naiman R.J., Rogers K.H. Large animals and system-level characteristics in river corridors. *Bioscience*, 1997, vol. 47, no. 8, pp. 521-529.
- 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, vol. 39, no. 2, pp. 266-273.
- Meentemeyer R.K., Vogler J.B., Hill C., Butler D.R. The geomorphic influences of burrowing beavers on streambanks, Bolin Creek, North Carolina. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1998, vol. 42, pp. 453-468.
- Nazarov N.G., Prokhorov V.E., Sharifullin A.G., Gusarov A.V., Lisetskii F.N. The influence of Eurasian beaver (*Castor Fiber* L.) activity on the transformation and functioning of riparian phyto-coenoses in the southern boreal zone (European Russia). *Earth*, 2023, vol. 4, no. 2, pp. 384-397.
- 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, vol. 32, no. 8, pp. 1174-1185.
- Polvi L.E., Wohl E. Biotic drivers of stream planform: implications for understanding the past and restoring the future. *Bioscience*, 2013, vol. 63, no. 6, pp. 439-452.
- 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, vol. 64, no. 4, pp. 279-290.
- Westbrook C.J., Cooper D.J., Baker B.W. Beaver assisted river valley formation. *River Res. Appl.* 2011, vol. 27, no. 2, pp. 247-256.
- Westbrook C.J., Cooper D.J., Butler D.R. *Beaver Hydrology and Geomorphology. Treatise on Geomorphology*. Ed. by J. F. Shroder. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2013, pp. 293-306.
- Wright J.P., Jones C.G., Flecker A.S. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia*, 2002, vol. 132, pp. 96-101.

**Сведения об авторах****Гусаров Артём Викторович**

кандидат географических наук,  
доцент, старший научный сотрудник,  
НИЦ «Цифровая Земля», Институт  
геологии и нефтегазовых технологий  
Казанский (Приволжский) федеральный  
университет  
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
e-mail: avgusarov@mail.ru

**Шарифуллин Айдар Гамисович**

кандидат географических наук,  
доцент кафедры ландшафтной экологии,  
Институт экологии и природопользования  
Казанский (Приволжский) федеральный  
университет, 420008, Россия, г. Казань,  
ул. Кремлевская, 18  
e-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

**Information about the authors****Gusarov Artyom Viktorovich**

Candidate of Sciences (Geography),  
Associate Professor, Senior Research Scientist,  
Scientific Research Center "Digital Earth",  
Institute of Geology and Petroleum Technologies  
Kazan (Volga Region) Federal University  
18, Kremlyovskaya st., Kazan, 420008,  
Russian Federation  
e-mail: avgusarov@mail.ru

**Sharifullin Aidar Gamisovich**

Candidate of Sciences (Geography),  
Associate Professor of the Department of  
Landscape Ecology, Institute of Environmental  
Sciences  
Kazan (Volga Region) Federal University  
18, Kremlyovskaya st., Kazan, 420008,  
Russian Federation  
e-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

Коды научных специальностей: **1.6.16, 1.6.21**

Статья поступила в редакцию **12.05.2024**; одобрена после рецензирования **21.11.2024**; принята к публикации **12.12.2024**

The article was submitted **May, 12, 2024**; approved after reviewing **November, 21, 2024**; accepted for publication **December, 12, 2024**