

СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В БОБРОВЫХ ВОДОЕМАХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «ПРИВОЛЖСКАЯ ЛЕСОСТЕПЬ» (ЕВРОПЕЙСКАЯ РОССИЯ)

И. В. Башинский¹, В. В. Осипов^{2,3}

¹Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Россия
e-mail: ivbash@mail.ru

²Государственный природный заповедник «Приволжская лесостепь», Россия

³Саратовский филиал ВНИРО, Россия
e-mail: osipovv@mail.ru

Поступила: 14.01.2019. Исправлена: 17.05.2019. Принята к опубликованию: 21.05.2019.

В работе проведена оценка скорости осаждения взвешенного вещества в бобровых прудах и старицах в долине р. Хопер (заповедник Приволжская лесостепь, Пензенская область, Россия). Скорость осаждения взвешенного вещества в бобровых прудах колебалась от 7.3 г/м²/сутки до 71.8 г/м²/сутки, в старицах – от 7.8 г/м²/сутки до 10.7 г/м²/сутки. Доля минеральной составляющей в разных типах водоемов существенно различалась. В бобровых прудах процент органического вещества колебался от 39.9% до 56.1%, в старицах от 77.1% до 81.3%. Доля органического материала в донных отложениях свидетельствовала о том, что старицы, как водоемы с большей историей и стабильностью, отличались большим видовым богатством флоры и фауны, и накапливали большую биомассу. Распределение величины осадков по разным водоемам может зависеть от разных факторов, связанных с деятельностью бобров. Мы использовали шесть показателей для оценки влияния бобров на водоемы – расположение, численность зверя, строительная активность, площадь затопленной поймы, роющая деятельность и внос древесных материалов. В первую очередь на увеличение скорости осаждения взвешенного вещества и на уменьшение органической составляющей влияют строительная активность и связанная с ней площадь подтопления поймы. Кроме этого, скорость и объемы осаждения взвешенного вещества могли зависеть от особенностей прибрежной растительности (травянистой или древесной); от продолжительности существования водоемов; от зоогенной активности по берегам. По объемам возможных накоплений взвешенного вещества бобровые пруды уступают старицам, так как сооружаются на малых водотоках, имеют меньшие размеры и меньшую площадь водосбора, и существуют гораздо меньшее время. Был изучен элементный состав отложений методами рентгенно-флуоресцентной спектроскопии. Химический состав донных отложений являлся характеристикой территории водосбора, поэтому максимальные концентрации отмечены для железа, кремния и кальция. Концентрации некоторых элементов косвенно свидетельствовали о вносе химических удобрений (фосфор, хлор, калий) и техногенном загрязнении (цинк, медь, свинец, мышьяк). Высказано предположение о возможном влиянии бобров на поступление фосфора (вымывание почвы из нор) и цинка (поступление с древесными остатками). Исследование подтверждает важную роль бобровых прудов в аккумуляции загрязнений и очищении экосистем.

Ключевые слова: *Castor fiber*, бобровый пруд, гидрология, гидрохимия, старица

Введение

Бобры (*Castor spp.*) могут влиять на гидрологию, геоморфологию и качество воды речных и прибрежных экосистем, что вызывает изменения и биотических компонентов этих систем (Naiman et al., 1994). В бобровых прудах происходит интенсивное осадконакопление, объемы которого в глобальных оценках выражаются в сотнях миллионов кубических метров (Butler & Malanson, 2005). В небольших прудах количество осадков может достигать 5000–6500 м³ (Naiman et al., 1988; Butler & Malanson, 1995). Появление бобрового пруда приводит к возрастанию органического вещества, поступающего из подтопленной прибрежной почвы, а так-

же к увеличению поступления растворенного органического вещества за счет автохтонных процессов. Это приводит к фактической перестройке углеродного цикла во всем ландшафте, и последующим изменениям в биоразнообразии и трофической структуре сообществ (Catalán et al., 2016). Большое количество бобровых прудов на реках приводит к изменению всех русловых процессов, интенсификации иловых накоплений, созданию новых зон осадконакопления, влияет на подземные воды, увеличивая поступление влаги из русла в почвы, и процессы переноса питательных веществ, таким образом, полностью меняя водные местообитания (Giriati et al., 2016).

Способность бобровых прудов накапливать разное вещество, позволяет им выполнять важную роль по очистке экосистем. Скорость процесса денитрификации в таких водоемах превышает показатели из других водных объектов – бобровый пруд за год способен усвоить от 50 до 450 кг нитратов, поступающих с прилегающего водосбора, площадью 1 км² (Lazar et al., 2015). Кроме этого, в бобровых прудах происходит нейтрализация кислотных осадков в течение года (Burns & McDonnell, 1998).

После масштабной реинтродукции обыкновенного бобра (*Castor fiber* Linnaeus, 1758), проведенной в середине XX в., в настоящее время вид широко расселился, и его численность интенсивно увеличивается по всей Европе (Halley et al., 2012). Влияние этого зверя на водные экосистемы очень существенно и активно изучается (например, Rosell et al., 2005; Завьялов и др., 2005; Dalbeck et al., 2007; Law et al., 2016; Osipov et al., 2018). Однако исследований по влиянию бобров на гидрологию в Европе относительно мало (Stefan & Klein, 2004; Puttock et al., 2017). Подавляющее большинство подобных работ – североамериканские. Их выводы сложно корректно сопоставлять с европейскими территориями, где долгое время бобры отсутствовали в экосистемах, и уровень антропогенной освоенности несравним с ситуацией в Канаде и США. В России, где множество малых рек фактически превратилось в цепочки прудов, такие работы единичны, и посвящены либо экспериментальным исследованиям (Klimenko & Eronchintseva, 2015), либо больше акцентируются на вопросах газообмена с атмосферой (Gatti et al., 2018; Рожкова-Тимина, 2018). Существует лишь одно исследование, касающееся влияния бобров на накопление вещества (Gorshkov, 2003).

Помимо этого, особое значение бобры могут иметь в лесостепной зоне (экорегione Восточно-Европейская лесостепь, по Olson et al., 2001), которая почти полностью находится на территории России. Эта территория характеризуется низким озерным фондом, представленным преимущественно малыми водоемами (Измайлова, Драбкова, 2016). Деятельность бобров приводит к существенному увеличению количества водоемов. Существует множество исследований, посвященных гидрологическим особенностям, вопросам осадконакопления и заиления малых прудов и водохранилищ лесостепных районов (Молдованов, 1978; Прыткова, 1979; Гладких, 2005; Шумаков, 2007; Дмитриева, Давыдова, 2016). Доказано, что

отличительной особенностью седиментационного баланса прудов лесостепной зоны является сравнительно небольшое поступление наносов из основного водотока и большое – с прилегающих склонов. Кроме того, пруды Русской равнины отличаются наибольшей интенсивностью заиления (Прыткова, 1982). Также, особенностью лесостепной зоны является высокая расчлененность территории, которая создает условия для максимального развития процессов водной эрозии (Кузнецов, Каштанов, 2011).

Однако, несмотря на схожесть бобровых прудов с антропогенными прудами, есть ряд существенных отличий. В большинстве своем они существенно меньше антропогенных прудов и располагаются на реках меньшего порядка, имеют большую плотность, так как часто располагаются каскадами (Ecke et al., 2017). Зависимость таких водоемов от активности бобров делает их менее долговечными и стабильными. Сама же деятельность этих животных (роющая, кормодобывающая, строительная и прочее) приводит к важным отличиям созданных ими прудов от антропогенных водоемов. Кроме того, существуют достоверные отличия антропогенных и зоогенных прудов по фауне зоопланктона (Крылов, 2005), который также вносит свой вклад в накопление и перераспределение взвешенного вещества.

Наше исследование ставит задачу оценить скорость осаждения взвешенного вещества в лесостепных бобровых водоемах на территории заповедника Приволжская лесостепь (Пензенская область), проанализировать состав вещества и охарактеризовать основные факторы, влияющие на процессы осадконакопления в водоемах, подверженных влиянию деятельности бобров.

Материал и методы

Исследование проводилось в 2017 г. на водотоках долины р. Хопер на территории участка Островцовская лесостепь заповедника Приволжская лесостепь (Пензенская область, Россия, 52.816222 N, 44.461222 E).

Для решения задач были выбраны три бобровых пруда и три старицы (рис. 1, табл. 1). В старицах также в той или иной степени была выражена деятельность бобра (рытье нор, захламление древесными остатками, изменение прибрежной растительности). Размеры водоемов были установлены с помощью программы QGIS 2.18.15 на основе снимков, полученных с квадрокоптера Phantom III.

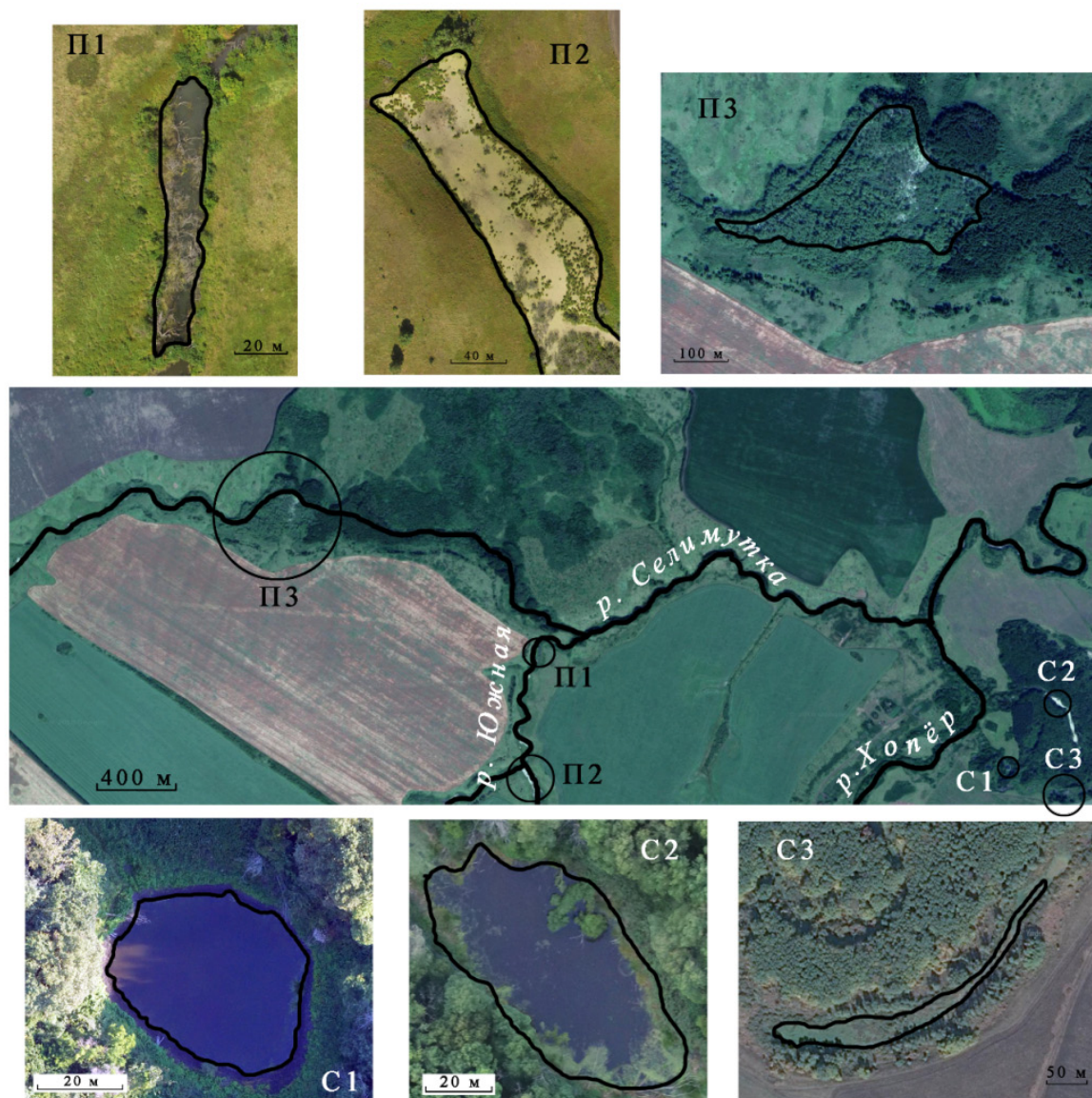


Рис. 1. Фотографии изученных водоемов и их расположение. П1–П3 – бобровые пруды, С1–С3 – старицы.
Fig. 1. Photos of studied water bodies. П1–П3 – beaver ponds, С1–С3 – oxbows.

Таблица 1. Параметры исследованных водоемов
Table 1. Some characteristics of studied water bodies

Водоем	Площадь, м ²	Максимальная глубина, м	Доля площади, высыхающая в течение лета, %	Заращение, %
Пруд 1	1385	1.1	< 10%	35
Пруд 2	22 390	1.5	< 10%	100
Пруд 3	96 855	> 2	< 10%	90
Старица 1	3149	> 3	75%	80
Старица 2	4847	1.7	66%	70
Старица 3	27 672	1.7	80%	60

Пруд №1 (П1) представлял собой небольшой «молодой» бобровый пруд руслового типа, возрастом не более 5 лет, расположенный на р. Южная (правый приток второго порядка р. Хопёр) со слабовыраженной поймой (ширина 5–10 м). Численность бобров в поселении не более 2–3 особей (Bashinskiy & Osipov, 2018). Прибрежная растительность

луговая, обширную часть занимают кустарники. Водная растительность представлена рясками. Пруд №2 (П2) (названный нами «старый»), располагался на той же реке в 1 км выше по течению, и был сооружен не менее 10 лет назад. Площадь пруда была значительно больше пруда №1 (табл. 1). Это связано с еще одним ручьем, впадающим в районе

плотины. Ширина поймы составляла 15–20 м. Несмотря на то, что постоянного бобрового поселения здесь в последние пару лет не наблюдается и деятельность бобров не выражена, подпор воды сохраняется. Прибрежная растительность луговая с редкими кустарниками. Водная растительность представлена рясками, в большом количестве встречаются осоковые кочки. Пруд №3 (ПЗ) располагался на р. Селимутка (правый приток первого порядка р. Хопер) и выделялся самой большой площадью. Пойма довольно широкая (более 100 м), но большей частью занята бобровым прудом. Незатопленной остается полоса шириной 10–20 м. В поселении насчитывалось 5–6 бобров. Важно отметить, что в прудах №1 и №2 деятельность бобров лимитировалась скудной кормовой базой. В то же время вокруг пруда №3 имелись значительные ресурсы поедаемых древесных пород, так как прибрежная растительность была представлена мелколиственным лесом (*Populus tremula* L., *Salix*, *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Водная растительность формировалась рясками. В исследованный период в весеннее время бобровые плотины не разрушались паводком. И пруды оставались практически не затронутыми, что связано с низким расходом воды в водотоке, на котором они расположены (р. Южная – 0.001 м³/с, р. Селимутка – 0.1 м³/с). В течение лета снижение уровня воды было в пределах 0.5 м.

Старицы располагались в охранный зоне заповедника, в пойме р. Хопер и имели примерно одинаковые морфометрические характеристики, но различались по характеру прибрежной растительности и степени воздействия бобров. В старице №1 (С1) бобры отсутствовали, но сохранились следы их деятельности в виде заброшенных нор и старых погрызов. Прибрежная растительность была представлена смешанным лесом, кустарниками, травянистой растительностью, водная растительность – рясками. Старица №2 (С2) была заселена бобрами (3–4 особи), которые появлялись здесь нерегулярно. Вдоль берега, как и в старице №1 находилось множество нор. Прибрежная растительность была представлена смешанным лесом, имелась погруженная водная растительность (*Myriophyllum* sp., *Utricularia vulgaris* L.). Старица №3 (С3) была самой большой по площади. Здесь так же обитали бобры, семья состояла из 1–2 особей.

Прибрежная растительность была представлена кустарниками и небольшими участками мелколиственного леса. Водная растительность состояла из зарослей *Sparganium erectum* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Stratiotes aloides* L. и *Lemna* spp. На момент исследований старицы около десяти лет не заливались половодьем, и находились в лимнофазе (Bashinskiy et al., 2019). Перепад уровня воды был связан с поступлением талых вод весной, и последующим интенсивным высыханием.

Для оценки скорости осаждения нами были использованы специальные ловушки, представлявшие из себя ящики с установленными внутри пластиковыми цилиндрами емкостью 1.5 л, с воронкообразным входом (рис. 2).

Установка выполнялась на глубине 1 м сразу после половодья (22–23 апреля). Поскольку изученные пруды и старицы относятся к малым водоемам с небольшой глубиной, поступающий с их водосборов материал оседает на дно, почти не подвергаясь сортировке и переработке (Страхов, 1993). Таким образом, мы считаем корректной установку ловушек не в самой глубокой точке каждого водоема, а на единой глубине. Кроме этого, такая методика обуславливалась спецификой бобровых водоемов – обилием древесных остатков в воде и наличием нор и вылазов. Выемка проб осуществлялась осенью (19–20 сентября). Вода из ловушек сцеживалась, твердое вещество сначала высушивалось в течение суток на воздухе, затем помещалось в сушильный шкаф (ШСС-80п), где при температуре 60°C сушилось до постоянного веса. Затем пробы взвешивались на весах точностью 0.1 г. Анализ содержания химических веществ был проведен методом рентгенно-флуоресцентной спектроскопии (международный стандарт ISO/TS 18705:2015 «Surface chemical analysis – Use of Total Reflection X-ray Fluorescence spectroscopy in biological and environmental analysis», спектрометр S2 PICOFOX, производитель BrukerAXS, Германия, свидетельство об утверждении типа средств измерений DE.C.31.076.A№44359) на базе лаборатории экологического мониторинга регионов АЭС и биоиндикации (ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН). Уровень загрязнения тяжелыми металлами оценивался в соответствии с требованиями гигиенических норм ГН 2.1.7.2041–06 и ГН 2.1.5.1315-03 (Предельно допустимые концентрации..., 2003, 2006).

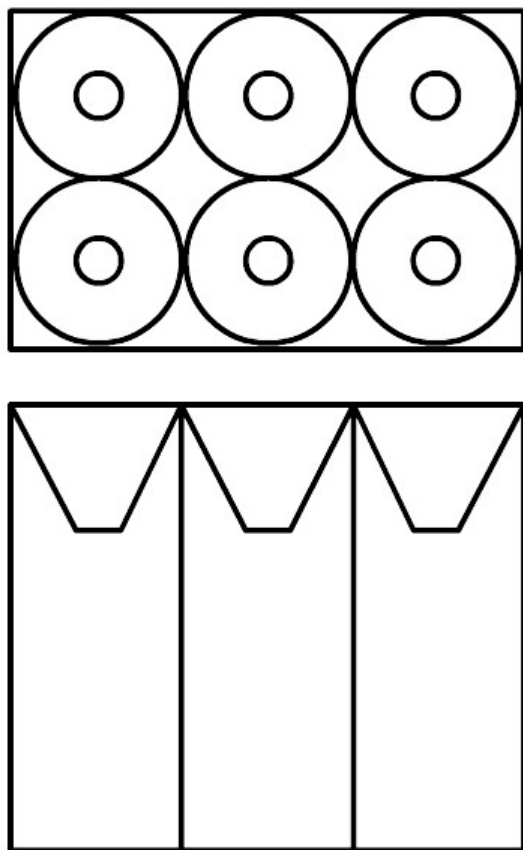


Рис. 2. Схема использованных седиментационных ловушек.
Fig. 2. Scheme of sedimentation traps.

Для оценки основных факторов воздействия бобров на осаждение взвешенного вещества, были выбраны шесть показателей, которые оценены в баллах:

1) Расположение поселения: 1 – изолированное (водоем), 2 – одиночное на водотоке, 3 – каскадное.

2) Количество бобров: 1 – не обитает, 2 – единичные посещения, 3 – семья.

3) Строительная активность: 1 – нет строительной деятельности, 2 – плотины есть, но не поддерживаются в настоящее время, 3 – плотины регулярно ремонтируются.

4) Площадь подтопления: 1 – без подтопления поймы, 2 – ширина затопленной поймы менее 100 м, 3 – ширина затопленной поймы более 100 м.

5) Роющая деятельность: 1 – нор нет или они единичны, 2 – норы встречаются лишь по одному берегу или реже, 3 – норы встречаются по всему периметру водоема.

6) Внос древесных материалов: 1 – не вносятся, 2 – вносятся в основном кустарниковые остатки, 3 – вносятся крупные ветки, деревья.

Был проведен анализ связей данных показателей со скоростью осаждения взвешенных частиц и долей органического вещества с использованием рангового коэффициента Спирмена (R_s) и коэффициента детерминации (R^2). Для оценки достоверности различий был использован критерий Манна-Уитни (U).

Результаты и обсуждение

Скорость осаждения

В результате проведенных исследований выявлено, что в бобровых прудах средняя скорость осаждения взвешенного вещества выше, чем в старицах (рис. 3). При этом скорость накопления взвешенного вещества в бобровых прудах колебалась с 7.3 г/м²/сутки до 71.8 г/м²/сутки, в старицах – от 7.8 г/м²/сутки до 10.7 г/м²/сутки. Наибольшая скорость осадений наблюдалась в наиболее крупном бобровом пруду №3 с развитой поймой. По сравнению с другими прудами, в этом жила крупная семья бобров, в результате деятельности которой была затоплена широкая пойма. Похожие ситуации были описаны в предыдущих исследованиях, когда наиболее значительное осаждение взвешенных наносов наблюдалось в поселениях, где при строительстве бобровых плотин происходило значительное затопление площадей (Gorshkov, 2003). Кроме того, большее значение для процессов осадконакопления имеет форма русла, ширина поймы и уклона (Butler & Malanson, 1995). В открытых степных прудах (№1 и №2) V-образное русло, слаборазвитая пойма и небольшая скорость течения не позволяли заливать большие площади под бобровые пруды.

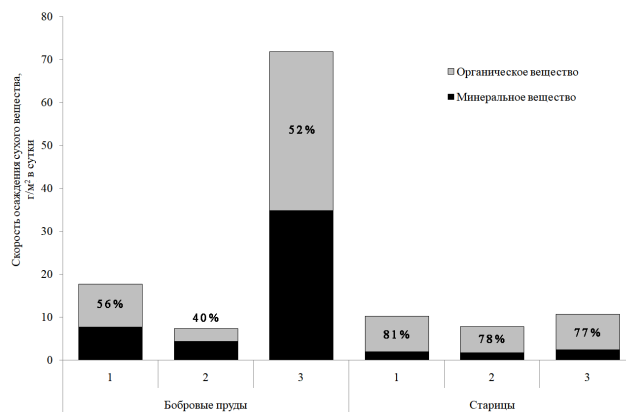


Рис. 3. Скорость осаждения взвешенного вещества в разных водоемах (в столбиках указан процент органического вещества).

Fig. 3. Sedimentation rates of suspended matter in different water bodies (proportion of organic matter is indicated in columns).

В бобровых прудах поступление взвешенных частиц могло зависеть от территориального расположения пруда на водотоке и возраста прудов. Так, «старый» заброшенный бобровый пруд, расположенный выше по течению, имел наименьшую скорость осаждения (рис. 3). Важно отметить, что пруды №1 и №2 были частью каскада прудов, а пруд №3 располагался отдельно, что тоже могло быть причиной значительных различий по скорости осаждения взвешенного вещества. Низкая скорость осаждения в пруду №2 может быть свидетельством долгой продолжительности существования данного водоема, так как с годами по мере заиления водоемов уменьшается их способность удерживать поступающий материал, что приводит к уменьшению интенсивности осадконакопления (Субетто, Прыткова, 2016).

Увеличению количеству взвеси в воде могли способствовать и кабаны (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), следы деятельности которых часто встречались по кромке берега лесного пруда №3. Кроме этого, отличием этого пруда была большая затененность и слабое развитие травянистой растительности. Густой травянистый покров лучше препятствует смыву почвы в водоемы, а слабая кормовая база не способствует активной средообразующей деятельности грызунов.

Соотношение минеральной и органической составляющих

Доля минерального материала в разных типах водоемов существенно различалась. В бобровых прудах процент органического вещества колебался от 39.9% до 56.1%, в старицах от 77.1% до 81.3%. При этом по зарастанию все водоемы были сопоставимы, за исключением бобрового пруда №1 (табл. 1). Доля органической составляющей в донных отложениях может свидетельствовать о том, что старицы как водоемы с большей историей и стабильностью, отличаются большим видовым богатством и биомассой флоры и фауны. Поскольку рассматриваемые нами бобровые пруды образовались сравнительно недавно (5–10 лет назад), они еще не стали полноценной заменой естественных водоемов для водной фауны. При этом в абсолютных величинах в бобровых прудах органического материала может продуцироваться сопоставимо или даже больше чем в старицах (рис. 3). Но минеральное вещество с водосбора, переносимое водным потоком, разбавляет органическое, и относительная доля последнего становится меньше. Кроме этого, бобры могут вносить органическое вещество за

счет заготовки древесных кормов, а также за счет выпадения деревьев в результате подгрызания и подтопления. Это тоже может вносить вклад в высокую долю органического материала в старицах, так как они расположены в лесу, поэтому захламление древесными остатками выше, чем в открытых степных прудах (№2 и №3).

Химический состав взвешенного вещества

Был проведен химический анализ донных отложений (табл. 2). Наблюдается довольно широкий разброс значений, закономерностей распределения данных по разным типам водоемов не наблюдается. Также не найдено достоверных различий по концентрациям химических элементов, как между всеми изученными водоемами, так и между бобровыми прудами и старицами в целом ($U = 491.5$, $p = 0.7$). Донные отложения водоемов формируются, главным образом, из материала, поступающего с территории водосбора и образующегося в самом водоеме. Следовательно, химический состав донных отложений является характеристикой территории водосбора и воды водоема. Процессы накопления микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях водоемов обусловлены многочисленными факторами. Их интенсивность зависит от химического и гранулометрического состава отложений, их типа, окислительно-восстановительных условий, pH среды, мощности осадков, а также сезона и метеоусловий. При этом для каждого водоема может быть свой механизм аккумуляции микроэлементов при сочетании некоторых перечисленных факторов (Даувальтер, 2006).

Максимальные концентрации отмечены для железа, кремния и кальция. Кремний и алюминий во взвешенном веществе были связаны, очевидно, с алюмосиликатным составом пород. Содержание кальция объяснялось тем, что основными почвообразующими породами этой территории являются лессовидные карбонатные отложения (Белобров и др., 2012). Кроме этого, в старицах это могло быть признаком большого количества раковин моллюсков в седиментационных ловушках. Высокая доля цинка обычно ассоциирована с оксидами железа и марганца (Даувальтер, 2002). Все водоемы расположены на освоенной человеком территории. Вокруг расположены возделываемые сельскохозяйственные поля. При сравнении наших данных с доиндустриальными фоновыми содержаниями элементов, установленными для донных отложений водоемов Чувашии (Иванов Д. и др., 2016), можно обратить внимание на сле-

дующее. Содержание меди превышало фоновые значения более чем в 10 раз, содержание цинка – в 3–5 раз, железа в 1.5–2.0 раза. Содержание марганца во всех водоемах находилось ниже доиндустриального фонового уровня. Наблюдались превышения по свинцу (пруд №2), однако эти цифры ниже, чем в современных отложениях рассмотренных водоемов Чувашии. Уровни содержания свинца и ртути в обнаруженных пробах были существенно ниже известных данных для современных донных отложений других водоемов Пензенской области (Иванов А. и др., 2016), однако наблюдались превышения по цинку и меди. Концентрации железа и марганца были на схожем уровне.

Концентрации некоторых элементов (фосфора, хлора, калия) косвенно свидетельствовали о вносе химических удобрений. В бобровом пруду №2, по обе стороны от которого располагались сельхозугодия, выявлен мышьяк, который часто содержится в пестицидах. Также в этом водоеме обнаружен свинец и очень высокие концентрации железа. Помимо возраста, главным отличием от других прудов, является тот факт, что водоем образован на слиянии двух ручьев. Поэтому поступление вещества идет из двух потоков. Оба ручья окружены сельскохозяйственными полями. И в отличие от остальных бобровых прудов, данный водоем расположен за границей заповедника. Это может играть роль при обработке полей с воздуха, в таком случае распыление удобрений не прерывается при пролете над водотоком.

Влияние факторов, связанных с деятельностью бобров

Проведен анализ связи скорости осаждения и химических характеристик взвешенного вещества с различными факторами, связанными с деятельностью бобров. Статистически значимых корреляций по скорости осаждения не было найдено. Небольшая связь наблюдается между данным показателем и строительной деятельностью бобров, а также площадью затопления поймы ($R_s = 0.46$). Эти же факторы достоверно коррелируют с долей органического вещества и расположением поселений ($R_s = -0.83$, $p < 0.05$). Несмотря на отсутствие достоверных корреляций, сравнение величин коэффициентов детерминаций для различных факторов может дать важную информацию. Наиболее определяющими показателями для скорости осаждения являлись активность строительной деятельности ($R^2 = 0.68$) и площадь затопляемой поймы ($R^2 = 0.68$). В нашем случае эти показатели оказались связаны, однако их нужно рассматривать отдельно, так как площадь затопленной поймы может определяться рельефом долины. Наименее значимым фактором оказалась роющая деятельность ($R^2 = 0.02$). Это может свидетельствовать о том, что объем вещества вносимый из нор, существенно меньше поступающего с поймы. Для доли органического вещества важным фактором является изолированность водоема ($R^2 = 0.82$). Косвенно это подтверждает тот факт, что бобровые пруды беднее стариц по составу биоты.

Таблица 2. Содержание химических элементов в осадках (мг/кг сухого веса)

Table 2. Concentrations of chemical elements in suspended matter (mg/kg of dry weight)

Элементы	Фоновые содержания*	ПДК**	Бобровые пруды			Старицы		
			1	2	3	1	2	3
Mg	17700	– / 50	–	–	–	–	–	45.1
Al	76100	– / 0.2	8.9	14.3	11.4	6.6	1.8	0.5
Si	–	– / 10	8128	12 912	11 577	10 256	2239	5094
P	690	– / 0.0001	211	149	114	712	334	106
S	1400	–	324	626	647	358	950	462
Cl	1500	– / 0	23.35	24.7	27.5	127.7	112.3	75.7
K	22300	–	2885	2044	2694	2159	1445	971
Ca	38900	–	7427	14 933	14 914	24 085	22 136	9368
Ti	3900	– / 0.01	117.1	115.4	160.1	121.8	83.8	85.4
Cr	92	6 / –	–	–	–	–	114	–
Mn	770	1500 / 0.1	313.7	880	178.3	101.7	720	278
Fe	40600	– / 0.3	32 908	41 387	31 024	37 325	42 760	8419
Co	17	50 / 0.1	–	–	–	–	4.8	–
Cu	39	3 / 1	–	277	–	358	287	725
Zn	75	23 / 1	107.6	85.1	177.1	156.6	223.7	207.9
As	5.6	2 / 0.01	–	0.6	–	–	–	–
Pb	17	32 / 0.01	–	10.6	–	–	–	–
Ba	510	– / 0.7	357	242	150	165	99	1.075

Примечание: *Фоновые значения даны по Григорьеву (2009); **Предельно допустимые концентрации (ПДК) для почв, мг/кг (ГН 2.1.7.2041–06) / ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л (ГН 2.1.5.1315–03). Жирным шрифтом выделены превышения ПДК, курсивом – превышения фоновых значений.

Корреляционный анализ концентраций химических элементов показал сильную значимую связь между содержанием фосфора и роющей деятельностью ($R_s = 0.93$, $p < 0.01$), которая очевидно способствует более интенсивному поступлению почвы в водоем. Также сильная корреляция обнаружена между концентрациями хлора и расположением поселений ($R_s = -0.93$, $p < 0.01$). При каскадном расположении прудов имеется больше мест аккумуляции этого элемента, поступающего, по-видимому, с водосбора после обработки полей. Поэтому наблюдаются сниженные концентрации, в то время как в изолированных старицах хлора осаждается больше. Кроме этого, выявлены значимые корреляции между содержанием алюминия и площадью подтопленной поймы и строительной деятельностью ($R_s = 0.83$, $p < 0.05$). Очевидно, этот факт связан с общим распределением взвешенного вещества и составом пород, о чем упоминалось выше.

Интересным представляется факт корреляции между содержанием цинка и вносом древесных остатков ($R_s = 0.84$, $p < 0.05$). Известно, что древесная растительность обладает фитоэкстракционными свойствами. При этом аккумуляция наибольших концентраций цинка в ветках и фотосинтезирующих органах наблюдается для родов *Betula*, *Salix* и *Populus* (Brekken & Steinnes, 2004; Железнова и др., 2017). Данные деревья относятся к наиболее предпочтительным кормам бобров (Zavyalov, 2014). Логично предположить, что бобры могут влиять на концентрации цинка во взвешенном веществе и донных отложениях, постоянно внося в водоем древесный материал.

Заключение

Наши исследования показали, что скорость осаждения взвешенного вещества в изученных бобровых прудах колеблется от 7.3 г/м²/сутки до 71.8 г/м²/сутки. Пересчет на площадь водоема позволяет предполагать осаждение в таких водоемах от 1 т до 9 т осадочного вещества в месяц. Наименьшее количество взвеси осаждается в небольших степных бобровых прудах (П1 и П2). Эти цифры сопоставимы с полученными ранее в Бельгии (13.1 т за полгода, de Visscher et al., 2014) и Великобритании (20.3 т за год, Puttock et al., 2018). Это может указывать на схожесть процессов в долинах степных рек и антропогенных ландшафтах Европы. Бобровые пруды на более облесенных участках долины с

широкой поймой осаждают существенно большее количество взвешенного вещества (53 т за полгода). В среднем же, по показателю пересчитанного объема осадений бобровые пруды уступают старицам из-за меньшей площади водосбора (пруды располагаются в долинах малых рек, рассматриваемые старицы – в долине р. Хопер), меньшей общей площади и возраста образования (самым старым бобровым прудам не более 15 лет).

Распределение величины осадков по разным водоемам может зависеть от разных факторов, связанных с деятельностью бобров. Наиболее важными из них являются строительная деятельность и связанная с ней площадь подтопления поймы, которые влияют на увеличение скорости осаждения взвешенного вещества и на уменьшение органической составляющей. Наименьшая доля органического вещества наблюдается в прудах, расположенных каскадом, наибольшая – в изолированных водоемах. Это связано с большей историей развития и стабильностью таких водоемов и соответственно с более высокими показателями биоразнообразия и продуктивности. Кроме этого, скорость и объемы осаждения взвешенного вещества могут зависеть от особенностей прибрежной растительности (травянистой или древесной), от продолжительности существования водоемов, от зоогенной активности по берегам.

Химический состав донных отложений являлся характеристикой территории водосбора. Поэтому максимальные концентрации отмечены для железа, кремния и кальция. Концентрации некоторых элементов косвенно свидетельствовали о вносе химических удобрений (фосфор, хлор, калий) и техногенном загрязнении (цинк, медь, свинец, мышьяк). Роющая деятельность бобров способствует более интенсивному поступлению некоторых элементов (например, фосфора) в водоем. Также можно предполагать влияние бобров на концентрации цинка (внос с древесными остатками).

Наше исследование подтверждает важную роль бобровых прудов в аккумуляции загрязнений и очищении экосистем.

Благодарности

Авторы признательны Л.А. Пельгуновой (лаборатория экологического мониторинга регионов АЭС и биоиндикации, ИПЭЭ РАН) за проведенный химический анализ проб, Р.Б. Сандлерскому (лаборатория биогеоэкологии им. В.Н. Сукачева, ИПЭЭ РАН) за съемку водоемов с помощью квадрокоптера, В.Н. Подшивалиной (Присурский

заповедник) за советы по организации исследований, Е.В. Осмелкину (Присурский заповедник) за важные рекомендации при подготовке рукописи, А.Н. Добролюбову (заповедник «Приволжская лесостепь») за возможность работы на территории заповедника. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 16-14-10323.

Литература

- Белобров В.П., Воронин А.Я., Баранцев П.Е., Кузнецов А.Ю. 2012. Почвы и структуры почвенного покрова Островцовской лесостепи // Труды Государственного заповедника «Приволжская лесостепь». Вып. 2. С. 17–30.
- Гладких К.А. 2005. Эколого-хозяйственная роль искусственных водоемов южной лесостепи Центрально-Черноземного Региона. Дисс. ... канд. географ. наук. Воронеж. 156 с.
- Григорьев Н.А. 2009. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН. 383 с.
- Даувальтер В.А. 2002. Факторы формирования химического состава донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ. 75 с.
- Даувальтер В.А. 2006. Исследование физического и химического состава донных отложений при оценке экологического состояния водоемов Мурманск: Изд-во МГТУ. 84 с.
- Дмитриева В.А., Давыдова Н.С. 2016. Малые искусственные водоемы Воронежской области (гидрология, гидрохимия, геоэкология, реестр прудов). Воронеж: Издательский дом ВГУ. 214 с.
- Железнова О.С., Черных Н.А., Тобратов С.А. 2017. Цинк и кадмий в фитомассе древесных растений лесных экосистем: закономерности транслокации, аккумуляции и барьерных механизмов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. №25(2). С. 253–270.
- Завьялов Н.А., Крылов А.В., Бобров А.А., Иванов В.К., Дгебуадзе Ю.Ю. 2005. Влияние речного бобра на экосистемы малых рек. М.: Наука. 186 с.
- Иванов А.И., Ильин В.Ю., Дудкин Е.А. 2016. Водноболотные угодья Пензенской области. Пенза: РИО ПГСХА. 208 с.
- Иванов Д.В., Осмелкин Е.В., Зиганшин И.И. 2016. Доиндустриальное фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Чувашской республики // Химия и инженерная экология: XVI международная научная конференция, посвященная 15-летию реализации принципов Хартии Земли в Республике Татарстан. Казань: Изд-во Фолиант. С. 150–153.
- Измайлова А.В., Драбкова В.Г. 2016. Проблемы лимнологической изученности Российской Федерации в свете нарастающего антропогенного воздействия на водные ресурсы // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы V Междунар. науч. конф. (12–17 сентября 2016 г., Минск – Нарочь). Минск: Издательский центр БГУ. С. 75–77.
- Крылов А.В. 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука. 263 с.
- Кузнецов М.С., Каштанов А.Н. 2011. Распространение эрозии почв (карта и пояснительная записка к ней) // Национальный Атлас почв Российской Федерации. М.: Изд-во «Астрель». С. 268–269.
- Молдованов А.И. 1978. Заиление прудов и водохранилищ в степных районах. Л.: Гидрометеиздат. 128 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. 154 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- Прыткова М.Я. 1979. Малые водохранилища лесостепной и степной зон СССР. Осадконакопление. Л.: Наука. 172 с.
- Прыткова М.Я. 1982. Географические закономерности осадконакопления в малых водохранилищах. Дисс. ... докт. географ. наук. Ленинград. 477 с.
- Рожкова-Тимина И.О. 2018. Влияние деятельности бобра на пойменные водоемы среднего течения р. Обь // Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов. Сборник статей VIII всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Волгоград. С. 99–104.
- Страхов Н.М. 1993. Осадкообразование в современных водоемах. М.: Наука. 392 с.
- Субетто Д.А., Прыткова М.Я. 2016. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 89 с.
- Шумаков А.Н. 2007. Заиление прудов и водохранилищ как элементов эрозионно-русловых систем в агроландшафтах Центрально-Черноземного региона. Дисс. ... канд. географ. наук. Курск. 217 с.
- Bashinskiy I.V., Senckevich V.A., Stoyko T.G., Katsman E.A., Korkina S.A., Osipov V.V. 2019. Forest-steppe oxbows in limnophase – abiotic features and biodiversity // *Limnologica*. Vol. 74. P. 14–22. DOI: 10.1016/j.limno.2018.10.005
- Bashinskiy I.V., Osipov V.V. 2018. Distribution and dynamic of *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) population in forest-steppe rivers: a case of the State Nature Reserve Privolzhskaya Lesostep', Penza region, European Rus-

- sia // Nature Conservation Research. Vol. 3(Suppl.2). P. 110–115. DOI: 10.24189/ncr.2018.068
- Brekken A., Steinnes E. 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals // Science of the Total Environment. Vol. 326(1–3). P. 181–195. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2003.11.023
- Burns D.A., McDonnell J.J. 1998. Effects of a beaver pond on runoff processes: comparison of two headwater catchments // Journal of Hydrology. Vol. 205(3–4). P. 248–264. DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00081-X
- Butler D.R., Malanson G.P. 1995. Sedimentation rates and patterns in beaver ponds in a mountain environment // Geomorphology. Vol. 13(1). P. 255–269. DOI: 10.1016/0169-555X(95)00031-Y
- Butler D.R., Malanson G.P. 2005. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams // Geomorphology. Vol. 71(1). P. 48–60. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.08.016
- Catalán N., Herrero Ortega S., Grönroft H., Hilmarsson T.G., Bertilsson S., Wu P., Levanoni O., Bishop K., Bravo A.G. 2016. Effects of beaver impoundments on dissolved organic matter quality and biodegradability in boreal riverine systems // Hydrobiologia. Vol. 793(1). P. 135–148. DOI: 10.1007/s10750-016-2766-y
- Dalbeck L., Lüscher B., Ohlhof D. 2007. Beaver ponds as habitat of amphibian communities in a central European highland // Amphibia-Reptilia. Vol. 28(4). P. 493–501. DOI: 10.1163/156853807782152561
- Ecke F., Levanoni O., Audet J., Carlson P., Eklöf K., Hartman G., McKie B., Ledesma J., Segersten J., Truchy A., Futter M. 2017. Meta-analysis of environmental effects of beaver in relation to artificial dams // Environmental Research Letters. Vol. 12(11). P. 113002. DOI: 10.1088/1748-9326/aa8979
- Gatti R.C., Callaghan T.V., Rozhkova-Timina I., Dudko A., Lim A., Vorobyev S.N., Kirpotin S.N., Pokrovsky O.S. 2018. The role of Eurasian beaver (*Castor fiber*) in the storage, emission and deposition of carbon in lakes and rivers of the River Ob flood plain, western Siberia // Science of the Total Environment. Vol. 644. P. 1371–1379. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.042
- Giriat D., Gorczyca E., Sobucki M. 2016. Beaver ponds' impact on fluvial processes (Beskid Niski Mts., SE Poland) // Science of Total Environment. Vol. 544 P. 339–353. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.103
- Gorshkov D. 2003. Is it possible to use beaver building activity to reduce lake sedimentation? // Lutra. Vol. 46(2). P. 189–196.
- Halley D., Rosell F., Saveljev A. 2012. Population and distribution of Eurasian beaver (*Castor fiber*) // Baltic Forestry. Vol. 18(1). P. 168–175.
- Klimenko D.E., Eponchintseva D.N. 2015. Experimental hydrological studies of processes of failure of beaver dams and pond draining // Biology Bulletin. Vol. 42(10). P. 882–890. DOI: 10.1134/S1062359015100064
- Law A., McLean F., Willby N.J. 2016. Habitat engineering by beaver benefits aquatic biodiversity and ecosystem processes in agricultural streams // Freshwater Biology. Vol. 61(4). P. 486–499. DOI: 10.1111/fwb.12721
- Lazar J.G., Addy K., Gold A.J., Groffman P.M., McKinney R.A., Kellogg D.Q. 2015. Beaver Ponds: Resurgent Nitrogen Sinks for Rural Watersheds in the Northeastern United States // Journal of Environmental Quality. Vol. 44(5). P. 1684–1693. DOI: 10.2134/jeq2014.12.0540
- Naiman R.J., Johnston C.A., Kelley J.C. 1988. Alteration of North American streams by beaver // BioScience. Vol. 38(1). P. 753–762. DOI: 10.2307/1310784
- Naiman R.J., Pinay G., Johnston C.A., Pastor J. 1994. Beaver Influences on the Long-Term Biogeochemical Characteristics of Boreal Forest Drainage Networks // Ecology. Vol. 75(4). P. 905–921. DOI: 10.2307/1939415
- Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'Amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth // Bioscience. Vol. 51(11). P. 933–938. DOI: 10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTW A]2.0.CO;2
- Osipov V.V., Bashinskiy I.V., Podshivalina V.N. 2018. Influence of the activity of the Eurasian Beaver *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) on the ecosystem biodiversity of small rivers in the forest-steppe zone. *Biology Bulletin* 45(10): 23–32. DOI: 10.1134/S1062359018100205
- Puttock A., Graham H.A., Cunliffe A.M., Elliott M., Brazier R.E. 2017. Eurasian beaver activity increases water storage, attenuates flow and mitigates diffuse pollution from intensively-managed grasslands // Science of the Total Environment. Vol. 576. P. 430–443. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.122
- Puttock A., Graham H.A., Carless D., Brazier R.E. 2018. Sediment and nutrient storage in a beaver engineered wetland // Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 43(11). P. 2358–2370. DOI: 10.1002/esp.4398
- Rosell F., Bozser O., Collen P., Parker H. 2005. Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems // Mammal Review. Vol. 35(3–4). P. 248–276. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2005.00067.x
- Stefan J., Klein A. 2004. Hydrogeomorphic effects of beaver dams on floodplain morphology: avulsion processes and sediment fluxes in upland valley floors (Spessart, Germany) // Quaternaire. Vol. 15(1–2). P. 219–231.
- de Visscher M., Nyssen J., Pontzele J., Billi P., Frankl A. 2014. Spatio-temporal sedimentation patterns in beaver ponds along the Chevral river, Ardennes, Belgium // Hydrological Processes. Vol. 28(4). P. 1602–1615. DOI: 10.1002/hyp.9702

Zavyalov N.A. 2014. Beavers (*Castor fiber* and *Castor canadensis*), the founders of habitats and phytophages // Biology Bulletin Reviews. Vol. 4(2). P. 157–180. DOI: 10.1134/S207908641402008X

References

- Bashinskiy I.V., Senkevich V.A., Stoyko T.G., Katsman E.A., Korkina S.A., Osipov V.V. 2019. Forest-steppe oxbows in limnophase – abiotic features and biodiversity. *Limnologica* 74: 14–22. DOI: 10.1016/j.limno.2018.10.005
- Bashinskiy I.V., Osipov V.V. 2018. Distribution and dynamic of *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) population in forest-steppe rivers: a case of the State Nature Reserve Privolzhskaya Lesostep', Penza region, European Russia. *Nature Conservation Research* 3(Suppl.2): 110–115. DOI: 10.24189/ncr.2018.068
- Brekken A., Steinnes E. 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals. *Science of the Total Environment* 326(1–3): 181–195. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2003.11.023
- Belobrov V.P., Voronin A.Y., Baratsev P.E., Kuznetsov A.Y. 2012. Soils and elements of soil cover of Ostrovtsovskaya Lesostep. *Proceedings of the State Nature Reserve «Privolzhskaya Lesostep'»* 2: 17–30. [In Russian]
- Burns D.A., McDonnell J.J. 1998. Effects of a beaver pond on runoff processes: comparison of two headwater catchments. *Journal of Hydrology* 205(3–4): 248–264. DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00081-X
- Butler D.R., Malanson G.P. 1995. Sedimentation rates and patterns in beaver ponds in a mountain environment. *Geomorphology* 13(1): 255–269. DOI: 10.1016/0169-555X(95)00031-Y
- Butler D.R., Malanson G.P. 2005. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams. *Geomorphology* 71(1): 48–60. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.08.016
- Catalán N., Herrero Ortega S., Gröntoft H., Hilmarsson T.G., Bertilsson S., Wu P., Levanoni O., Bishop K., Bravo A.G. 2016. Effects of beaver impoundments on dissolved organic matter quality and biodegradability in boreal riverine systems. *Hydrobiologia* 793(1): 135–148. DOI: 10.1007/s10750-016-2766-y
- Dalbeck L., Lüscher B., Ohlhof D. 2007. Beaver ponds as habitat of amphibian communities in a central European highland. *Amphibia-Reptilia* 28(4): 493–501. DOI: 10.1163/156853807782152561
- Dauvalter V.A. 2002. *The factors of formation of chemical composition of lake sediments*. Murmansk: Publisher of MGTU. 75 p. [In Russian]
- Dauvalter V.A. 2006. *Study of physical and chemical compound of bottom sediments for assessment of ecological conditions of water bodies*. Murmansk: Publisher of MGTU. 84 p. [In Russian]
- Dmitrieva V.A., Davydova N.S. 2016. *Small artificial reservoirs of the Voronezh region (hydrology, hydrochemistry, geoecology, register of ponds)*. Voronezh: Publisher of the Voronezh State University. 214 p. [In Russian]
- Ecke F., Levanoni O., Audet J., Carlson P., Eklöf K., Hartman G., McKie B., Ledesma J., Segersten J., Truchy A., Futter M. 2017. Meta-analysis of environmental effects of beaver in relation to artificial dams. *Environmental Research Letters* 12(11): 113002. DOI: 10.1088/1748-9326/aa8979
- Gatti R.C., Callaghan T.V., Rozhkova-Timina I., Dudko A., Lim A., Vorobyev S.N., Kirpotin S.N., Pokrovsky O.S. 2018. The role of Eurasian beaver (*Castor fiber*) in the storage, emission and deposition of carbon in lakes and rivers of the River Ob flood plain, western Siberia. *Science of the Total Environment* 644: 1371–1379. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.042
- Giriat D., Gorczyca E., Sobucki M. 2016. Beaver ponds' impact on fluvial processes (Beskid Niski Mts., SE Poland). *Science of Total Environment* 544: 339–353. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.11.103
- Gladkikh K.A. 2005. *Ecological and economic role of artificial reservoirs of the southern forest-steppe of the Central Black Earth Region*. PhD Thesis. Voronezh. 156 p. [In Russian]
- Gorshkov D. 2003. Is it possible to use beaver building activity to reduce lake sedimentation? *Lutra* 46(2): 189–196.
- Grigoriev N.A. 2009. *Chemical element distribution in the upper continental crust*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS. 383 p. [In Russian]
- Halley D., Rosell F., Saveljev A. 2012. Population and distribution of Eurasian beaver (*Castor fiber*). *Baltic Forestry* 18(1): 168–175.
- Ivanov A.I., Ilyin V.Yu., Dudkin E.A. 2016a. *Wetlands of Penza region*. Penza: RIO PGSKHA. 208 p. [In Russian]
- Ivanov D.V., Osmelkin E.V., Ziganshin I.I. 2016b. Preindustrial background levels of heavy metals in water sediments of the Chuvash Republic. In: *Chemistry and engineer ecology: Proceedings of the XVI international conference in honor of the 15th anniversary of realization of Charter of the Earth in Tatarstan Republic*. Kazan: Foliant. P. 150–153. [In Russian]
- Izmailova A.V., Drabkova V.G. 2016. Limnological research problems in the Russian Federation in light of increasing anthropogenic impact on water resources. In: *Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality: proceedings of the V International Scientific Conference (12–17 September 2016, Minsk – Naroch)*. Minsk: Publishing centre of BSU. P. 75–77. [In Russian]
- Klimenko D.E., Eponchintseva D.N. 2015. Experimental hydrological studies of processes of failure of beaver dams and pond draining. *Biology Bulletin* 42(10): 882–890. DOI: 10.1134/S1062359015100064

- Krylov A.V. 2005. *Zooplankton of small lowland rivers*. Moscow: Nauka. 263 p. [In Russian]
- Kuznetsov M.S., Kashtanov A.N. 2011. Distribution of soil erosion (map and explanatory note). In: *National Atlas of Soils of the Russian Federation*. Moscow: Astrel. P. 268–269. [In Russian]
- Law A., McLean F., Willby N.J. 2016. Habitat engineering by beaver benefits aquatic biodiversity and ecosystem processes in agricultural streams. *Freshwater Biology* 61(4): 486–499. DOI: 10.1111/fwb.12721
- Lazar J.G., Addy K., Gold A.J., Groffman P.M., McKinney R.A., Kellogg D.Q. 2015. Beaver Ponds: Resurgent Nitrogen Sinks for Rural Watersheds in the Northeastern United States. *Journal of Environmental Quality* 44(5): 1684–1693. DOI: 10.2134/jeq2014.12.0540
- Moldovanov A.I. 1978. *Silting of ponds and reservoirs in steppe regions*. Leningrad: Hydrometeoizdat. 128 p. [In Russian]
- Naiman R.J., Johnston C.A., Kelley J.C. 1988. Alteration of North American streams by beaver. *BioScience* 38(1): 753–762. DOI: 10.2307/1310784
- Naiman R.J., Pinay G., Johnston C.A., Pastor J. 1994. Beaver Influences on the Long-Term Biogeochemical Characteristics of Boreal Forest Drainage Networks. *Ecology* 75(4): 905–921. DOI: 10.2307/1939415
- Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'Amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51(11): 933–938. DOI: 10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2
- Osipov V.V., Bashinskiy I.V., Podshivalina V.N. 2018. Influence of the activity of the Eurasian Beaver *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) on the ecosystem biodiversity of small rivers in the forest–steppe zone. *Biology Bulletin* 45(10): 23–32. DOI: 10.1134/S1062359018100205
- Prytkova M.Y. 1979. *Small reservoirs of the forest-steppe and steppe zones of the USSR. Sedimentation*. Leningrad: Nauka. 172 p. [In Russian]
- Prytkova M.Y. 1982. *Geographical patterns of sedimentation in small reservoirs*. Dr.Sc. Thesis. Leningrad. 477 p. [In Russian]
- Puttock A., Graham H.A., Cunliffe A.M., Elliott M., Brazier R.E. 2017. Eurasian beaver activity increases water storage, attenuates flow and mitigates diffuse pollution from intensively-managed grasslands. *Science of the Total Environment* 576: 430–443. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.122
- Puttock A., Graham H.A., Carless D., Brazier R.E. 2018. Sediment and nutrient storage in a beaver engineered wetland. *Earth Surface Processes and Landforms* 43(11): 2358–2370. DOI: 10.1002/esp.4398
- Rosell F., Bozser O., Collen P., Parker H. 2005. Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems. *Mammal Review* 35(3–4): 248–276. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2005.00067.x
- Rozhkova-Timina I.O. 2018. Influence of beavers activity on floodplain water-bodies of middle reaches of the Ob river. In: *Research, conservation and restoration of natural landscapes: Proceedings of the VIII national scientific conference with international participation*. Volgograd. P. 99–104. [In Russian]
- Shumakov A.N. 2007. *Silting of ponds and reservoirs as elements of erosion-channel systems in the agricultural landscapes of the Central Black Earth Region*. PhD Thesis. Kursk. 217 p. [In Russian]
- Stefan J., Klein A. 2004. Hydrogeomorphic effects of beaver dams on floodplain morphology: avulsion processes and sediment fluxes in upland valley floors (Spessart, Germany). *Quaternaire* 15(1–2): 219–231.
- Strakhov N.M. 1993. *Sediment formation in modern water-bodies*. Moscow: Nauka. 392 p. [In Russian]
- Subetto D.A., Prytkova M.Y. 2016. *Bottom sediments of different water bodies. Study methods*. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS. 89 p. [In Russian]
- Threshold limit value (TLV) of Chemicals in the Water of Water Bodies of Household and Cultural-Household Water Use: Hygienic Standards. GN 2.1.5.1315-03. Moscow: Russian register of potentially hazardous chemical and biological substances of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2003. 154 p. [In Russian]
- Threshold limit value (TLV) of chemicals in the soil: Hygienic standards. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006. 15 p. [In Russian]
- de Visscher M., Nyssen J., Pontzele J., Billi P., Frankl A. 2014. Spatio-temporal sedimentation patterns in beaver ponds along the Chevral river, Ardennes, Belgium. *Hydrological Processes* 28(4): 1602–1615. DOI: 10.1002/hyp.9702
- Zavyalov N.A. 2014. Beavers (*Castor fiber* and *Castor canadensis*), the founders of habitats and phytophages. *Biology Bulletin Reviews* 4(2): 157–180. DOI: 10.1134/S207908641402008X
- Zavyalov N.A., Krylov A.V., Bobrov A.A., Ivanov V.K., Dgebuadze Yu.Yu. 2005. *Impact of the European beaver on small river ecosystems*. Moscow: Nauka. 186 p. [In Russian]
- Zheleznova O.S., Chernykh N.A., Tobratov S.A. 2017. Zinc and cadmium in tree species of forest ecosystems: patterns of translocation, accumulation and barrier mechanisms. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety* 25(2): 253–270. [In Russian]

SEDIMENTATION RATE OF SUSPENDED MATTER AND ITS CHEMICAL COMPOSITION IN BEAVER WATER BODIES IN THE STATE NATURE RESERVE «PRIVOLZHSKAYA LESOSTEP'» (EUROPEAN RUSSIA)

Ivan V. Bashinskiy¹, Vitaly V. Osipov^{2,3}

¹*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Russia*

e-mail: ivbash@mail.ru

²*State Nature Reserve «Privolzhskaya Lesostep'», Russia*

³*Saratov Branch of VNIRO, Russia*

e-mail: osipovv@mail.ru

An estimation of sedimentation rate of suspended matter was done in beaver (*Castor fiber*) ponds and oxbows of the River Khoher valley (State Nature Reserve «Privolzhskaya Lesostep'», Penza region, Russia). In beaver ponds the sedimentation rate varied from 7.33 g/m² per day to 71.81 g/m² per day, in oxbows – from 7.83 g/m² per day to 10.69 g/m² per day. The share of the mineral part was different in different water bodies. In beaver ponds organic matter formed 39.93–56.12%, in oxbows – 77.11–81.29%. The organic percentage showed that long existence and stability of oxbows lead to a higher biodiversity and biomass of flora and fauna. The rate values could depend on some factors that beavers influence on. We used six parameters for the estimations of the beaver impact: location of water body, abundance of animals, building activities, area of flooded valley, digging activities, input of woody material. Mainly, their building activities and area of flooded valleys increased sedimentations and decreased the share of organic matter. Also, we suggest that amounts of suspended matter could depend on vegetation (woody or grasslands), age of beaver settlements, and other zoogenic activities. Beaver ponds could accumulate less volume of sediments, because they are situated on small rivers and have less size and watershed area than oxbows, and existed not so long as natural water bodies. The chemical composition of sediment was studied with the X-ray fluorescence spectroscopy. The chemical compound of suspended matter was connected with the composition of watershed. So, maximum concentrations were observed for iron, silicon and calcium. Some concentrations indicated anthropogenic fertilisation (phosphorus, chlorine, potassium) and technogenic pollution (zinc, copper, lead, arsenic). Our results suggest a possible beaver impact on concentrations of phosphorus (inflow from burrows) and zinc (input with branches and twigs). The study confirms the importance of beaver ponds for accumulation of pollutants and ecosystem purification.

Key words: beaver pond, *Castor fiber*, hydrochemistry, hydrology, oxbow