

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ (на примере участка долины Клязьмы от Пушкино до Владимира)

Кандидат геолого-минералогических наук
М.А. ХАРЬКИНА, А.С. ВАЛИЕВА
(Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова)

DOI: 10.7868/50233361921020051

Экосистема¹ (экологическая система) состоит из сообщества живых организмов, среды их обитания и системы связей, осуществляющей обмен веществ и энергии между ними. С учётом среды обитания живых организмов выделяют сухопутные и водные экосистемы. На одни и другие большое влияние оказывают техногенные воздействия, связанные с хозяйственной деятельностью человека.

История использования и освоения долины реки Клязьмы началась 4 тыс. лет назад, что привело к сведению естественных лесов в связи с развитием скотоводства. В XIX–XX вв. отмечался рост промышленного производства и лесозаготовок. В промышленных центрах наибольшее распространение получили стекольная и текстильная промышленность. На современном этапе на участке исследований расположены такие города, как Пушкино, Щёлково, Орехово-Зуево, Ногинск, Павловский Посад и Электросталь (см. рис. 1).

Предприятия города Пушкино относятся как к легкой, так и к тяжелой промышленности. В городе действуют заводы металлоизделий, металлокон-

струкций, бетонный, сухих строительных смесей, ликёроводочный завод “Топаз” и пр. Лидирующую позицию занимает мебельное производство².

В Щёлково приоритетные направления – машиностроение, металлообработка, стройиндустрия, производство пестицидов и агрохимикатов, лёгкая и пищевая промышленности. В городе функционируют заводы – Щёлковский металлургический “Щелмет”, насосный “Эна”, опытно-механический “НИИ-ХимМаш”, бетонные “Щёлковский” и “Монолит-Н”, завод газохолодотехников, фармацевтический завод “Валента фарм”, мебельные фабрики и пр.

В Павловском Посаде ведущими отраслями считаются: текстильная, шёлковая, хлопчатобумажная и шерстяная. Наряду с ними функционируют заводы асфальтобетонный, Крупинский арматурный, полимерных материалов “Метарт”, электротехнического оборудования “Ртк-электро-м”, электронных компонентов “Экситон”, лакокрасочных материалов “Финкраска” и пр.

Электросталь – центр металлургии и тяжёлого машиностроения. Круп-

¹ Экосистема. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

² Бойко О.Н. Пушкино: между прошлым и будущим. М.: Эко-Пресс, 2010. 144 с.

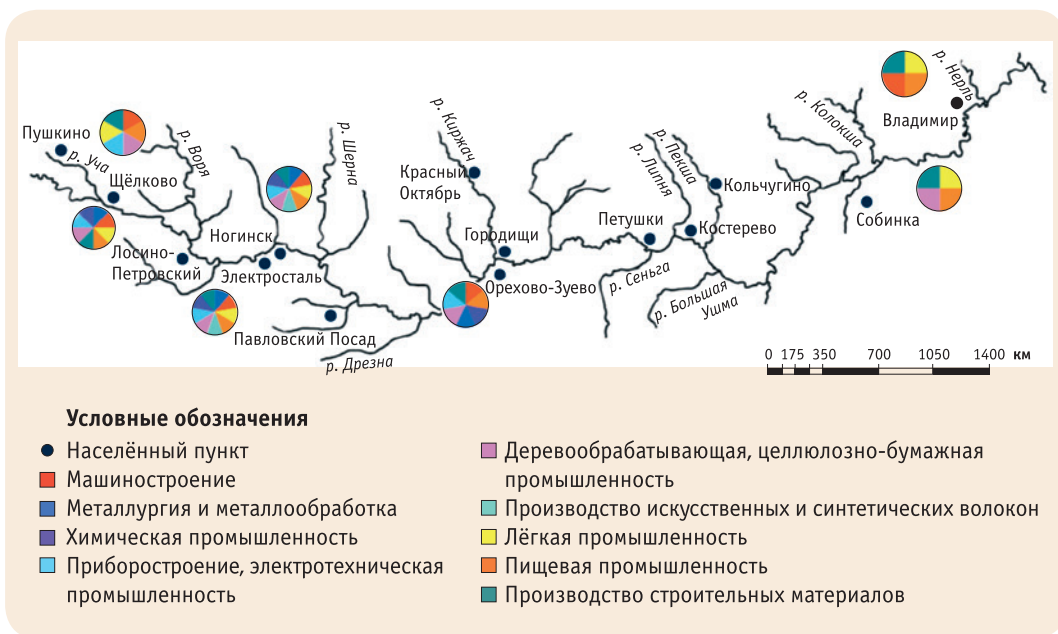


Рис. 1.
Промышленность на участке
от Пушкино до Владимира.

нейшие предприятия города – машиностроительный завод, заводы строительных металлических изделий и стеклопакетов, металлургический “Электросталь”, химико-механический “Электростальский” и др.

Ногинск на протяжении многих десятков лет славился своей текстильной продукцией, однако в последнее время такое же значение в городе приобрела пищевая промышленность и промышленность строительных материалов. Кроме того, в Ногинске функционируют НПО “Прибор”, заводы топливной аппаратуры, литейно-механический, металлообработки “Богородский”, а также производства изделий из стали “Техно-ТТ”, пластиковой тары “Союзпромпласт” и резинотехнических изделий, лакокрасочный завод “Profilux” и пр.

В Орехово-Зуево крупнейшие действующие предприятия – заводы “Карболит”, специализирующийся на про-

изводстве продукции из синтетической смолы и полимерных материалов, и “Респиратор”, выпускающий кислородно-дыхательную аппаратуру, а также заводы стекольного машиностроения “Стекломаш”, Демиховский машиностроительный, литейно-механический “Ортекс”, железобетонный “Тонар” и бетонный, мебельные и швейные фабрики и др.

Большую роль в экономической базе Собинки³ сегодня играет швейная промышленность. Это два предприятия: ОАО “Собинская швейная фабрика” и ООО “Фэшнстайл”. На юге города вырос корпус кондитерской фабрики “Большевик”. В городе работает “Собинский хлебокомбинат”. Сохраняет свои позиции в жизни города “Леспромхоз”.

Промышленность Владимира представлена⁴ предприятиями машиностроения и металлообработки, энергетики и химической промышленности. Среди

³ Кузнецов В.В. Собинка: история и современность // Ученые записки. Владимир. 2017. № 2. С. 24–31.

⁴ Категория: предприятия Владимира. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

**Степень изученности компонентов экосистем долины р. Клязьмы
на участке от г. Пушкино до г. Владимира**

Объекты исследования	Место исследования	Год	Результаты исследования	Автор, год публикации	
Абиотические	Донные отложения	р. Клязьма от г. Щелково до г. Владимир	1998	Прогрессирующее накопление загрязнителей отсутствует из-за промывного режима	Ю.В. Алехин, С.А. Лапицкий (2001)
		р. Клязьма, притоки – Нерль, Колокша, Владимирская область	1994–1996	Выявлены загрязняющие вещества: железо, марганец, СПАВ, нефтепродукты. Уровень загрязнения по СПЗ – средний	И.В. Грачева (2004)**
		р. Клязьма от г. Пушкино до г. Владимир	1994–1999, 2003	Выявлен наиболее грязный участок от г. Щелково до пос. Городищи, и наиболее чистый – от г. Собинки до г. Владимира	Н.В. Коломийцев и др. (2015)***
	Поверхностные воды	р. Клязьма, притоки – Нерль, Колокша, Владимирская область	1994–1996	Выявлено самое загрязняющее вещество – железо, превышает ПДК. Уровень загрязнения по СПЗ – средний	И.В. Грачева (2004)**
		р. Клязьма ниже г. Щелково, г. Ногинск, г. Павловский Посад	2002–2008	Выявлена наибольшая загрязненность медью (более 25 ПДК) и цинком (более 10 ПДК)	Ю.М. Субботина (2014)****
		р. Клязьма, г. Электросталь, Московская область	2014	Выявлено повышенное содержание фтора: 0.42–0.84 мг/л при среднем значении 0.56 мг/л вблизи городских территорий	А.В. Савенко, Д.Ю. Зезин, В.А. Савенко (2014)*****
		р. Клязьма, г. Орехово-Зуево, Московская область	2015–2017	Анализ цветности воды в районе завода «Респиратор» и Старого моста довольно высок. Наиболее благоприятное состояние реки отмечено в районе Желтой горы и станции Войново	А.Н. Фролова (2017)*****
	Подземные воды	р. Клязьма, притоки – Нерль, Колокша, Владимирская область	1994–1996	Выявлены загрязняющие вещества: железо, соединения азота, марганца, стронция, хрома и нефтепродукты. Уровень загрязнения по СПЗ – средний	И.В. Грачева (2004)**

Таблица 1 (окончание)

Объекты исследования	Место исследования	Год	Результаты исследования	Автор, год публикации	
Биотические	Водная растительность	р. Клязьма, г. Ногинск, Московская область	2000, 2010	Участки испытывают умеренные антропогенные нагрузки, для них характерно достаточное фиторазнообразие	И.Е. Зыков (2013)*****
	Водные беспозвоночные, бактерии	р. Клязьма, г. Ногинск, Московская область	2000, 2010	Стабильность состояния исследованного участка водотока и благоприятность условий обитания для водных организмов	И.Е. Зыков (2013)*****
		р. Клязьма, г. Павловский Посад, г. Орехово-Зуево, Московская область	2011–2012	Установлено превышение предельно допустимых концентраций колиформных бактерий: в пробе 1 в 260 раз, а в пробе 2 в 32 раза	О.В. Коротков, Е.В. Сапова (2015)*****

СПЗ – суммарный показатель загрязнения.

- * Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Сергеев В.И. Экологическая геология Восточного Подмосковья – региона с контрастными техногенными нагрузками. Геохимическое изучение потоков рассеяния и физико-химических механизмов депонирования приоритетных загрязнителей: материалы второй международной конференции науки о земле и образовании. СПб. 2001. С. 256–257.
- ** Грачева И.В. Геоэкологическая оценка состояния природной среды Владимирской области. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук (25.00.36) / Грачева Ирина Владимировна. СПбГУ. СПб. 2004. 24 с.
- *** Колומийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Гетьман Е.Н. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений // Мелиорация и водное хозяйство. – Москва. 2015. № 6.
- **** Субботина Ю.М. Антропогенное воздействие мегаполиса на естественные водоемы на примере реки Клязьмы / Материалы ежегодной международной заочной научно-практической конференции. Москва. 2014. С. 292–297.
- ***** Савенко В.С., Зезин Д.Ю., Савенко В.А. Фтор в поверхностных и грунтовых водах бассейна среднего течения р. Клязьмы // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 5. С. 544–552.
- ***** Фролова Н.А. Экологический мониторинг состояния вод реки Клязьма в черте г. Орехово-Зуево // Современные здоровьесберегающие технологии. Орехово-Зуево. 2017. № 4. С. 425–429.
- ***** Зыков И.Е. Оценка качества воды реки Клязьмы восточных регионов Подмосковья // Вестник Моск. гос. областного гум. института. Серия: медико-биологические науки. Орехово-Зуево. 2013. Том 2. № 2. С. 222–224.
- ***** Коротков О.В., Колотовкина Я.Б., Плужник О.М. Сравнительный анализ микробиологического загрязнения реки Клязьмы / Актуальные проблемы современной экологии и экологического образования. 21 апреля 2015 г. Москва. С. 17.

них: "Автоприбор", ОАО "Владимирский тракторный завод", ПАО "Владимирский химический завод", ОАО «Владимирский завод "Электроприбор"».

Другими словами, бассейн реки Клязьмы на участке от Москвы до Владимира испытывает значительную техногенную нагрузку, будучи приёмником сточных вод крупных промышленных городов, а река Клязьма представляет собой природно-техногенный объект с разнообразной промышленностью и высокой плотностью населения. В её бассейне можно изучить весь спектр техногенной нагрузки по загрязнению донных отложений, а на основе биотестирования водных организмов – составить представление о состоянии водных экосистем.

Этапы исследований компонентов экосистем долины реки Клязьмы. Характеризуя этапы исследований долины Клязьмы, можно наметить два подхода: оценку изученности по широте охвата территорий и оценку по набору объектов геоэкологических исследований (табл. 1).

По широте охвата территорий все исследования долины Клязьмы делятся на точечные и широкомасштабные. Точечные исследования проводились на отдельных участках долины реки около крупных городов с целью выявления элементов-загрязнителей в отдельных компонентах экосистем. Широкомасштабные исследования охватывают протяжённые участки долины Клязьмы. В частности, на рубеже веков, в 1999 и 2003 гг., Всероссийским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова совместно с германским Исследовательским центром Карлсруэ были предприняты⁵ две экспедиции с де-

тальным отбором проб донных отложений Клязьмы и её основных притоков для определения техногенной нагрузки на водные экосистемы. В 2017 г. было принято решение вновь заняться этими участками для выявления тенденции к уменьшению или к увеличению содержания тяжёлых металлов в донных отложениях Клязьмы.

По набору объектов исследований все работы делятся на такие, в которых дана оценка состояния отдельных абиотических компонентов экосистем (поверхностных вод, донных отложений и почв), и на такие, в которых приведена совместная оценка косных и живых объектов. В результате установлено, что участок реки Клязьмы от Пушкино до Владимира достаточно хорошо изучен, однако существуют отдельные "окна". Преобладают исследования абиотических компонентов экосистем, а биотические составляющие изучены недостаточно. Выявлены самые благополучные и неблагополучные участки долины реки. Так, наиболее загрязнённым оказался участок долины от Щёлково до посёлка Городищи, а наиболее чистым – от Собинки до Владимира.

Чтобы определить динамику техногенной нагрузки на водные экосистемы с начала двухтысячных годов, было принято решение вновь заняться участком долины Клязьмы от Пушкино до Владимира для выявления тенденции к уменьшению или к увеличению содержания тяжёлых металлов в донных отложениях и их влиянием на водные организмы.

Методика опробования донных отложений на современном этапе. При выборе схемы пробоотбора река Клязьма разбивалась на серию створов. Как правило, намечался один створ до города (посёлка, промзоны) и один после; один створ до притока (места сброса сточных вод); один створ в устьевой части притока

⁵ Бесфамильный И.Б., Кизяев Б.М., Грэм Т., Добрачев Ю.П., Ильина Т.А., Коломийцев Н.В., Майсснер Р., Митрюхин А.А. и др. Техногенное загрязнение речных экосистем. М.: Научный мир, 2002. С. 140.



Рис. 2.
Схема опробования донных отложений долины реки Клязьмы и участки проведения биотестирования.

и один – после его впадения. Створы ниже предполагаемого источника загрязнения назначались на участке реки в зоне полного смешения сточных и речных вод. В каждом створе в простых случаях отбиралась одна проба, в более сложных – две, по одной у каждого берега. Общее количество образцов, отобранных в 2017–2018 гг., составило 33 пробы. На рис. 2 синим цветом показаны точки отбора проб донных отложений, а зелёным выделены участки проведения биотестирования в 2017–2018 гг.

Для коррекции механического состава из каждой пробы донных отложений выделялась “сорбирующая” фракция < 0.02 мм (фракция “физической глины”). Таким способом пробы, отобранные на разных участках долины реки, приводились к сравнимому грансоставу. Эта фракция практически полностью состоит из высокодисперсных глинистых минералов, оксидов марганца и железа, и также органического вещества, обладающих максимальными сорбционными свойствами. Выбор такой фракции обусловлен ещё и тем обстоятельством, что её содер-

жание в паводковых осадках на поймах может достигать 70% и более. Выделяли фракции путём мокрого просеивания через лабораторные нейлоновые сита с размером ячеек 0.02 мм.

Методика и результаты лабораторных исследований. Основное направление лабораторных исследований абиотического компонента экосистем – определение содержания тяжёлых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr) и мышьяка (As) в донных отложениях Клязьмы. Исследования проводились атомно-абсорбционным методом⁶. Значения концентрации элементов сравнивались с местным фоном, в качестве которого была выбрана точка на реке Пекша у деревни Кольчугино, и с региональным, в качестве которого выступают значения концентрации элементов в донных отложениях реки Ока.

Состояние донных отложений оценивалось с использованием суммарного показателя загрязнения (Z_c). Его расчёт производится для точки отбора проб или створа наблюдений по всем анализируемым тяжёлым металлам:

⁶ **Атомно-абсорбционная спектроскопия (AAS)** – спектроаналитическая процедура количественного определения химических элементов с использованием поглощения оптического излучения (света) свободными атомами в газообразном состоянии.

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c \cdot (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации (отношение содержания химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию); n – число химических элементов, входящих в изучаемую ассоциацию.

Для определения состояния эколого-геохимических условий использовалась градация степени загрязнения почв и донных отложений по суммарному показателю загрязнения, предложенная Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) (табл. 2).

Таблица 2

Ориентировочная шкала оценки загрязнения рек по интенсивности накопления химических элементов в донных отложениях

Z_c	Уровень техногенного загрязнения*
< 10	Слабый
10–30	Средний
30–100	Высокий
100–300	Очень высокий
> 300	Чрезвычайно высокий

* Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002.

Согласно суммарному показателю загрязнения, в 2017–2018 гг. участки от Пушкино до Щёлково и от Костерёво до Владимира характеризуются слабым уровнем загрязнения, участок Щёлково–Лосино-Петровский – очень высоким, а участок от Лосино-Петровский до Орехово-Зуево – высоким уровнем загрязнения (рис. 3). Таким образом, средняя часть долины Клязьмы по результатам 2017–2018 гг. в экологическом отношении более неблагоприятная, чем её нижняя часть.

Сопоставление содержания тяжёлых металлов и мышьяка в донных отложениях Клязьмы с интервалом в 15 лет показало увеличение концентрации тяжёлых металлов в районе расположения промышленных центров Щёлково, Лосино-Петровский, Электросталь, Ногинск, Орехово-Зуево. Верховья реки Клязьмы от Пушкино до Щёлково и низовья от Костерёво до Владимира остаются относительно чистыми.

Динамика суммарного показателя загрязнения (Z_c) донных отложений с начала двухтысячных годов на различных участках долины Клязьмы представлена в табл. 3. Относительно тяжёлая экологическая обстановка сложилась

Таблица 3

Динамика суммарного показателя загрязнения (Z_c) донных отложений

Участки долины р. Клязьма	Уровни загрязнения в разные годы	
	2003 г.	2017–2018 гг.
Пушкино–Щёлково	слабый	
Щёлково–Лосино-Петровский	высокий	очень высокий
Лосино-Петровский–Орехово-Зуево	средний	высокий
Костерёво–Владимир	слабый	

на участке Щёлково–Лосино-Петровский–Орехово-Зуево, что может быть связано с частичным ростом производства свинцовых аккумуляторов, хрусталя, эмалей, красок, лаков и пр. в городах долины. Снижение уровня загрязнения вниз по течению реки может объясняться как природными, так и техногенными факторами. Среди природных факторов следует назвать изменение дисперсности частиц донных отложений вниз по течению реки (заменой глинистых донных отложений,

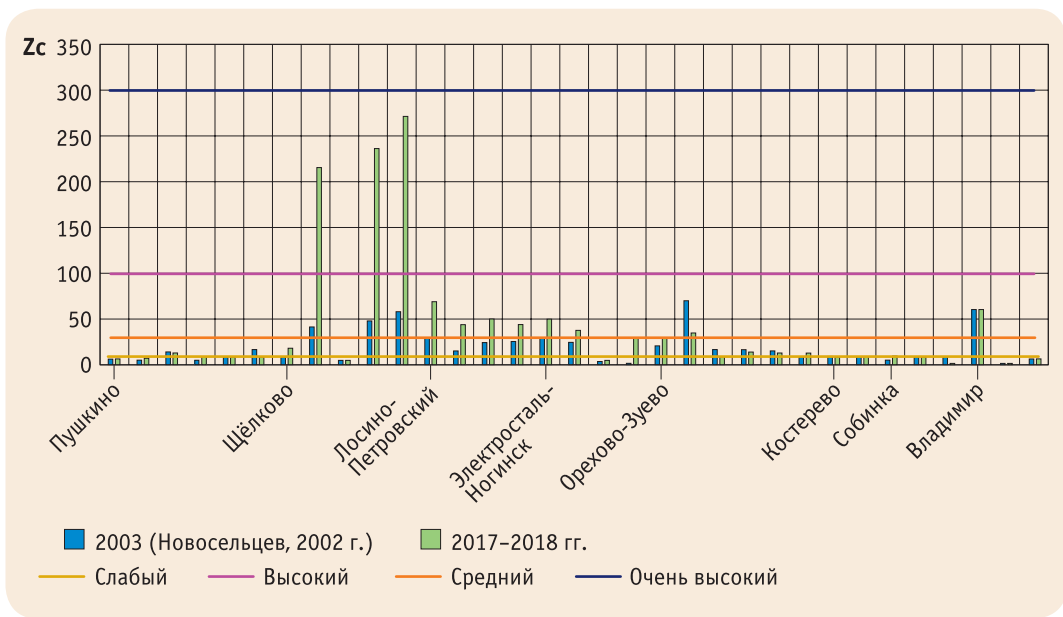


Рис. 3.
Уровни загрязнения донных отложений на участке от Пушкино до Владимира.

склонных к аккумуляции элементов-загрязнителей, на легко дренируемые (песчаные), а также с впадением относительно чистых притоков Пекши, Колокши и Нерли. Из техногенных причин снижения уровня загрязнения донных отложений назовём уменьшение вниз по течению реки числа населённых пунктов с развитой промышленностью.

Состояние биотического компонента экосистем оценивалось через выживаемость водных организмов. Для токсикологического испытания в качестве тест-объекта был выбран вид дафний *Ceriodaphnia affinis*. Основная цель эксперимента на цериодафниях – установить токсичность исследуемых проб водных вытяжек из донных отложений Клязьмы по выживаемости тест-объекта. Для изготовления водных вытяжек использовались донные отложения, отобранные на участке максимального загрязнения ниже Щёлкова, и относительно чистые пробы, отобранные в районе впадения притоков Пекши,

Колокши и Нерли. Биотестирование водных вытяжек из образцов донных отложений проводилось по методике, разработанной В.А. Тереховой⁷, в помещении с оптимальной освещённостью 400–600 лк и температурой $23 \pm 1^\circ\text{C}$.

Водную вытяжку из донных отложений готовили в соотношении: 1 часть донных отложений и 4 части культивационной воды. Для подготовки культивационной воды питьевую воду отстаивали и аэрировали в течение 3–7 суток (до полного дехлорирования) в бутылках из бесцветного стекла в присутствии высшей водной растительности (2–3 г по воздушно-сухой массе любой аквариумной растительности на 1 дм³ питьевой воды). Навеску донных отложений помещали в колбу 1000 и приливали четырёхкратное количество дистиллированной воды. Далее полу-

⁷ Терехова В.А. Биотест-системы для задач экологического контроля: методические рекомендации по практическому использованию стандартизованных тест-культур / В.А. Терехова, Л.П. Воронина, Д.В. Гершкович, В.И. Ипатова, Е.Ф. Исакова, С.В. Котелевцев, Т.О. Попутникова, А.А. Рахлеева, Т.А. Самойлова, О.Ф. Филенко. М.: Изд-во "Доброе слово", 2014. 48 с.

Таблица 4

Результаты биотестирования
с использованием *Ceriodaphnia affinis*

Участок отбора донных отложений для получения водных вытяжек	Число выживших (шт.)	Средняя выживаемость (%)
Щёлково–Лосино-Петровский	0/6	0
	0/7	
	0/7	
Собинка–Владимир	5/6	70

ченную смесь на два часа помещали на аппарат для встряхивания жидкости, после чего отстаивали в течение 30 минут. Надосадочную жидкость сифонировали (перекачивали самотёком), а затем фильтровали через бумажные обеззоленные фильтры “белая лента”. После этого измеряли pH. Вытяжка из донных отложений имела значение pH в диапазоне 7.0–8.5.

Для эксперимента брались молодые особи в возрасте 4–24 часов после рождения. Разница в возрасте мальков цериодафний одной выборки не превышала 8 часов.

Основной показатель, исследуемый в опыте, – выживаемость рачков. Учёт выживших цериодафний проводили через 48 часов от начала биотестирования. Особей считали выжившими, если они свободно передвигались в толще воды или всплывали со дна сосуда не позднее, чем через 15 с после его легкого покачивания.

Проведённое биотестирование показало (табл. 4), что в пробе с участка Щёлково–Лосино-Петровский не выжило ни одной цериодафнии, а в пробе с участка Собинка–Владимир выжило больше половины. Контрольные пробы с использованием дистиллированной воды подтвердили 100%-ную выживаемость, что свидетельствует о правильности выполнения биотестирования.

На основе полученных данных можно сделать предположение, что одна

из причин нулевой выживаемости тест-объекта на участке Щёлково–Лосино-Петровский – высокие уровни загрязнения донных отложений. Известно, что токсичные вещества снижают продолжительность жизни ракообразных⁸. В избыточных концентрациях медь весьма токсична для гидробионтов – приводит к атрофии ряда органов и тканей и нарушению процессов кровообразования⁹. Цинк в повышенных концентрациях разрушает ткани гидробионтов, нарушает дыхание и координацию движений¹⁰. Никель обладает канцерогенными, гонадо- и эмбриотоксичными свойствами (возможностью угнетения половой железы до полной утраты способности размножения и потенциальной возможностью отрицательно влиять на потомство в период между зачатием и образованием эмбриона), причём свойства эти кумулятивные.

Заключение. Экспериментально установлено, что с начала двухтысячных годов повысился уровень загрязнения донных отложений на участке долины реки Клязьмы от Щёлково до Орехово-Зуево. По суммарному показателю загрязнения за рассматриваемый период впервые выявлен очень высокий уровень загрязнения донных отложений на участке Щёлково–Лосино-Петровский. Токсичность донных отложений отражается на состоянии гидробионтов. Методом биотестирования с использованием рачков рода *Daphnia* установлена их нулевая выживаемость на загрязнённых участках реки.

⁸ Гершкович Д.М., Исакова Е.Ф. Действие низких концентраций потенциально токсичных веществ на *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg в пожизненных испытаниях / Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.

⁹ Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжёлые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 285 с.

¹⁰ Мартин Р. Бионеорганическая химия токсичных ионов металлов: некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. С. 25–61.