

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 637:627.157:002

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. С. М. Чеснокова^{1,*}, О. В. Савельев^{1,**}

¹Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), ул. Горького, 87, Владимир, 600000 Россия

*E-mail: chesnokova.chemist@mail.ru

**E-mail: olegator86@bk.ru

Поступила в редакцию 25.12.2022 г.

После доработки 24.01.2023 г.

Принята к публикации 13.02.2023 г.

Представлены результаты оценки уровня загрязнения донных отложений четырех малых рек Владимирской обл. тяжелыми металлами (ТМ) и фосфатами. По величинам коэффициентов концентрации ТМ, характеризующих уровень концентрирования (аномальности) элементов в донных отложениях относительно их фонового содержания в регионе, выявлены зоны техногенных полиэлементных геохимических аномалий в руслах всех исследованных водотоков и их структура. Установлено, что приоритетными металлами техногенных геохимических аномалий в донных осадках являются Fe, Pb, Co, Cu, Zn, Cr, Mn. Максимальные уровни загрязнения донных отложений указанными металлами характерны для зон влияния стоков с территорий коллективных садов (СНТ), животноводческих комплексов, крупных промышленных городов и сельских поселений. По значениям суммарного показателя загрязнения (Z_c), отражающего аддитивное превышение фонового содержания группой ТМ, входящих в состав техногенных геохимических аномалий, исследованные водотоки расположились в ряд: р. Содышка > р. Каменка > р. Рпень > р. Илевна, по содержанию фосфатов: р. Содышка > р. Рпень > р. Каменка > р. Илевна. Изучены корреляционные зависимости между компонентами донных отложений. Проведена оценка усредненной нагрузки на водотоки ТМ и фосфатов.

Ключевые слова: малые реки, донные отложения, загрязнение, полиметалльные геохимические аномалии, фосфаты, усредненная антропогенная нагрузка

DOI: 10.31857/S0869780923020030, EDN: TVWGQT

ВВЕДЕНИЕ

Малые реки, составляющие значительную долю гидрографической сети Владимирского региона, являются основными приемниками сточных вод предприятий промышленности и сельского хозяйства, поверхностного стока с территорий городских и сельских поселений, сельхозугодий, промплощадок, полигонов сельскохозяйственных и промышленных отходов. Указанные стоки загрязнены соединениями биогенных элементов, тяжелыми металлами (ТМ), нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами, пестицидами, органическими веществами природного и антропогенного происхождения, взвешенными частицами, что вызывает эвтрофикацию малых рек и заиливание их русел [1, 3, 8].

Установлено, что в результате процессов седиментации и трансседиментации взвешенных веществ аллохтонного и автохтонного происхождения в руслах малых рек формируются донные отложения, состав которых, как правило, отражает

специфику хозяйственного использования водосборных территорий [5, 12].

Состав донных отложений стабильнее по сравнению с составом водной среды, мониторинг их состава менее трудоемок и экономически более целесообразен, чем ежегодное проведение сезонной оценки гидроэкосистемы по гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Исходя из этого, донные осадки в настоящее время многими авторами рассматриваются как индикаторы экологического состояния водных объектов и для оценки техногенной нагрузки на гидроэкосистему [4, 10, 12].

Наиболее опасными компонентами донных отложений поверхностных вод являются ТМ и фосфаты, так как при увеличении в воде общей концентрации растворимых солей (ионной силы), изменении окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий в водотоке возрастает их поток в водную фазу, что приводит к токсификации и эвтрофикации гидроэко-

стем и гибели наиболее чувствительной гидробиоты [10].

Цель работы — исследование уровня загрязнения донных отложений 4-х малых рек Владимирской обл. ТМ, фосфат-ионами; оценка техногенных геохимических аномалий ТМ в донных отложениях водотоков и антропогенной нагрузки на водотоки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования — малые водотоки бассейнов рек Клязьма (Содышка, Рпень, Каменка) и Ока (Илевна).

Указанные водотоки испытывают влияние как крупных стационарных, так и рассеянных источников загрязнения, характеризуются существенным различием площадей водосборных территорий, уровнем урбанизации и спецификой хозяйственного использования водосборных территорий.

Илевна — левый приток р. Ока, длина 40 км, площадь водосбора 861 км², протекает по территории Муромского района Владимирской обл. Бассейн реки полностью располагается на территории Муромского Предочья — самой распаханной части Мещерской Провинции подтайги Русской равнины, с выраженной правой асимметрией (правые притоки обширнее и многоводнее). Верхняя часть водосборной территории практически полностью распахана, естественные насаждения сведены к минимуму, остальная часть бассейна расположена в более лесистой местности со слабой заселенностью. Правобережная часть бассейна испытывает антропогенную нагрузку за счет большей плотности населения и большей интенсивности освоения территории, а левобережная часть — за счет промышленных предприятий округа Муром и мкр. Вербовский и населенных пунктов, находящихся в непосредственной близости к водотоку и его притокам. Наибольшее техногенное воздействие испытывает устьевой участок реки за счет промышленных стоков Муромского приборостроительного завода.

Каменка протекает по густонаселенной территории Суздальского района, впадает в р. Нерль (правый берег), длина водотока 41 км, площадь водосборного бассейна 313 км². Район характеризуется развитым сельским хозяйством, отсутствием крупных промышленных предприятий. Водоток загрязняется ливневыми и паводковыми стоками с территорий крупных животноводческих комплексов и сельхозугодий, пастбищ, с территорий многочисленных сельских поселений и г. Суздаль с частными домами без канализации и неисправными очистными сооружениями города. К загрязнению экосистемы р. Каменка способствовало также нарушение гидрологического режима в

черте г. Суздаль (постройка двух капитальных плотин) и распашка пойменных лугов.

Рпень — левый приток р. Клязьма, длина 44 км, площадь водосбора 270 км², протекает по территории Суздальского района и г. Владимир. Бассейн реки асимметричен за счет правобережных притоков, лесные массивы незначительны (около 13% территории), почвы на водосборе преимущественно распаханы, имеет достаточно высокий уровень урбанизации. Гидрологический режим водотока нарушен (за счет постройки плотин и инженерных прудов). Водосборная территория р. Рпень, за исключением городской зоны, испытывает в основном сельскохозяйственную нагрузку и влияние многочисленных сельских поселений, техногенная нагрузка приходится на промышленные предприятия г. Владимир (машиностроение и химическая промышленность) и жилищно-коммунальное хозяйство.

Содышка — правый приток р. Рпень, протекает по северо-западной окраине г. Владимир, длина водотока 22 км, площадь водосборной территории 82.7 км². Бассейн реки имеет высокий уровень урбанизации с многочисленными сельскими поселениями и коллективными садами (рис. 1). Гидрологический режим нарушен, на реке возведена дамба с образованием в среднем течении водохранилища площадью 102 га. Водоток в верхнем течении испытывает сильное антропогенное воздействие за счет стоков с очистных сооружений и промплощадки компостирования отходов птицефабрик, далее водоток загрязняется стоками с селитебных территорий и несанкционированных свалок твердых бытовых и промышленных отходов в прибрежной полосе водного объекта.

Отбор проб донных отложений для анализа и определение содержания в донных отложениях фосфатов проводили по стандартным методикам. Валовое содержание ТМ в донных осадках оценивали рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре “Спектроскан МАКС-GV” [6]. Анализ проб донных отложений проводили в четырех повторностях. Корреляционные зависимости между компонентами донных осадков установлены с использованием программы Statistica 7.

Для характеристики уровня загрязнения донных отложений и техногенных геохимических аномалий ТМ применяли значения коэффициентов концентрации (K_c), которые характеризуют уровень концентрирования (аномальности) элемента в донных отложениях относительно его фонового содержания.

Фоновые концентрации ТМ в донных осадках рек Владимирской обл. были установлены по данным “Отчета о результатах эколого-геохимических исследований антропогенного загрязнения почв (м-б 1:50000–1:25000) и донных осад-



Рис. 1. Водосборный бассейн р. Содышка.

ков (м-б 1:200000)”, подготовленного партией № 1/90 во Владимирской обл. за 1990–1991 гг. (в 2 томах); отв. исполнитель А.Н. Прилепский.

Элементный состав и структуру геохимической аномалии характеризовали по формуле геохимической ассоциации, представляющей собой упорядоченную по значениям ранжированный ряд химических элементов с $K_c \geq 1.5$ [12].

Для расчета усредненной антропогенной нагрузки тяжелых металлов и фосфатов на водотоки использовано предложенное нами соотношение:

$$Y_{АН} = \frac{C_{ср} \cdot L}{S},$$

где $Y_{АН}$ – усредненная антропогенная нагрузка по конкретному поллютанту, характеризующая поступление поллютанта с 1 км² водосборного бассейна; $C_{ср}$ – средняя концентрация поллютанта, мг/кг; L – длина водотока, км; S – площадь водосборного бассейна, км².

Для выявления техногенных геохимических аномалий в руслах исследованных водотоков выбраны только те металлы, для которых известны их фоновые содержания в донных отложениях рек Владимирской обл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлено содержание фосфатов и ТМ в донных отложениях исследованных водотоков.

Из данных табл. 1 следует, что высокий уровень загрязнения ТМ и техногенные геохимические аномалии характерны для устьевых участков всех изученных водотоков, а также в зоне влияния крупных городов, коллективных садов, круп-

ных сельских поселений, птицефабрик и автомагистралей с интенсивным движением транспорта.

Аномально высокие уровни загрязнения ТМ обнаружены в донных отложениях р. Содышка в зонах влияния коллективных садов и птицефабрик и р. Илевна в ее устье и зоне влияния г. Муром, что связано с поступлением в водоток стоков промышленных предприятий города и п. Вербовский.

В участках геохимических аномалий р. Илевна коэффициенты концентрации ТМ варьируются в следующих пределах: свинца 3.61–8.94, меди 1.63–2.63, хрома 1.60–2.29. Качественный состав геохимической аномалии в районе воздействия коллективных садов (р. Содышка) выражается формулой: $Zn_{16.51}Co_{13.93}Mn_{6.65}Cr_{5.42}Pb_{5.34}Cu_{3.30}$. Ведущие роли в этой ассоциации принадлежат Zn, Co, Mn, что связано с загрязнением стоков нестандартными агрохимикатами, применяемыми при выращивании овощей и фруктов в садах, регуляторов роста растений, микроудобрений, пестицидов, а также с поступлением поллютантов от бытовых промышленных отходов и неочищенных хозяйственных стоков. В целом русло р. Содышка имеет наиболее высокий уровень содержания в донных отложениях ТМ, что связано с тем, что вся водосборная территория водотока расположена в промышленно-урбанизированной зоне с крупными стационарными и диффузными источниками загрязнения.

Полиэлементные геохимические аномалии обнаружены в истоке р. Рпень, где много лет функционировало городское стрельбище. В зоне влияния федеральной трассы М-7 и сельских поселений в русле р. Рпень образовались две геохимические аномалии, характеризующиеся ассоциацией эле-

Таблица 1. Содержание фосфатов и ТМ в донных отложениях малых рек (мг/кг)

Пункт отбора проб	PO ₄ ³⁻	Компоненты							Z _c
		Pb	Cu	Cr	Co	Zn	Fe	Mn	
р. Илевна									
1. Исток	130	57.68	26.04	39.00	6.32	11.16	865	78	4
2. Ниже пос. Булатниково	1200	24.50	49.00	79.20	13.12	63.22	11 141	750	4
3. Стоки д. Котышево	1485	28.28	48.72	79.80	11.44	41.76	7464	480	3
4. Выше устья р. Картынь	485	47.46	40.32	66.60	1.14	27.26	7464	384	3
5. Ниже устья р. Картынь	279	57.26	35.84	37.80	4.88	15.66	2488	276	4
6. Стоки д. Коржавино	1050	47.74	33.60	52.80	1.68	27.84	5192	300	3
7. Ниже устья р. Коварда	855	47.74	47.88	63.00	5.28	31.32	6165	378	4
8. Зона влияния г. Муром	1513	53.90	45.92	102.60	4.40	31.32	7030	672	5
9. Зона влияния г. Муром	1488	50.54	45.64	106.20	2.72	41.18	5949	420	4
10. Зона влияния г. Муром	1683	125.16	69.72	97.80	6.48	84.10	5624	378	12
11. Устье	2009	67.06	73.64	135.60	10.16	93.96	11 573	492	8
C _{ср}	1107	55.21	46.94	78.22	6.15	42.62	6450.46	418.91	
р. Каменка									
1. Исток	500	26.47	34.03	84.02	16.58	88.37	16440	1728	40
2. Стоки с. Губачево	1875	26.95	67.76	106.25	33.58	70.06	24768	3420	46
3. Стоки с. Вышеславское	825	36.54	53.80	88.37	28.93	67.07	18495	1932	49
4. До впадения р. Бакалейка	1900	34.05	66.62	108.07	64.96	79.85	30392	3312	59
5. До впадения р. Тумка	850	52.59	11.99	74.04	34.20	45.80	16440	2070	37
6. После впадения р. Тумка	1375	43.33	53.44	93.51	48.17	77.73	25309	5286	57
6. Стоки с. Янево	375	34.32	60.30	93.28	43.26	71.56	21956	2670	51
8. Стоки г. Суздаль	350	48.20	46.73	94.15	47.65	102.98	17738	1770	61
9. Стоки г. Суздаль	550	46.33	55.33	100.78	16.98	75.27	13087	1230	41
10. Стоки г. Суздаль	500	57.96	28.39	79.98	12.44	47.28	10708	1614	30
11. До очистных сооружений	650	55.82	24.74	70.69	21.85	49.89	12979	1626	32
12. Устье	2250	21.37	55.19	87.44	22.94	68.80	19360	1920	42
C _{ср}	1000	40.33	46.53	90.05	32.63	70.39	18972.67	2381.5	
р. Рпень									
1. Исток	3925	36.82	110.04	217.20	32.16	388.60	27256	2100	22
2. До впадения р. Содышка	1725	60.34	31.64	49.80	5.92	29.58	6598	420	3
3. После впадения р. Содышка	400	40.18	50.40	72.60	10.40	47.56	15575	1092	5
4. Стоки автотрассы М-7	1300	57.40	70.28	101.40	20.96	77.14	16 548	528	6
5. До руч. Безымянный	2825	32.06	73.36	97.20	38.40	123.54	31 474	2892	16
6. После руч. Безымянный	675	63.14	19.88	62.40	—	35.96	5408	180	4
7. После “Владимирский теп- личный комбинат”	3505	18.48	71.12	85.20	23.28	85.84	23 148	2532	11
8. Зона влияния г. Владимир	1975	65.94	59.36	163.80	—	204.16	14 385	780	10
9. Устье	2200	62.02	45.08	108.60	—	162.98	11 032	618	7
C _{ср}	2059	48.49	59.02	106.47	14.57	128.37	16824.89	1238	
р. Содышка									
1. Исток	5822	26.46	33.88	84.00	16.64	88.163	2380	1728	48
2. До птицефабрики	18081	52.08	45.36	94.2	44.00	143.84	4110	1152	41
3. После птицефабрики	19613	40.04	48.72	100.80	32.80	117.74	4218	3888	37

Таблица 1. Окончание

Пункт отбора проб	PO ₄ ³⁻	Компоненты							Z _c
		Pb	Cu	Cr	Co	Zn	Fe	Mn	
4. Зона влияния с. Спасское	2823	19.04	36.40	57.60	16.00	85.84	2163	—	33
5. Зона влияния п. РТС	4900	28.98	57.96	104.40	22.00	121.22	2921	—	69
6. Водохранилище	2145	53.34	17.92	64.80	15.52	32.48	2055	2682	14
7. Зона влияния кол. садов	11952	74.76	92.40	325.20	111.44	957.58	6922	3990	133
8. Устье	4290	58.66	33.04	93.00	38.40	113.1	3028	1362	42
C _{ср}	8703	44.17	45.71	115.50	37.10	207.50	3474.63	1850.25	
C _{фон}		14	28	60	8	58	10818	600	

ментов: Pb_{2.29–4.10}Co_{2.60–4.80}Cu_{2.51–2.62}Fe_{1.53–2.91}Cr_{1.62–1.69}. Полиметаллические геохимические аномалии сформировались также в донных отложениях р. Рпень в зонах влияния г. Владимир и в устьевом участке. Приоритетными элементами указанных геохимических аномалий донных отложений водотока явились Pb, Co, Cu, Fe, Cr. Качественный состав ассоциации элементов геохимических аномалий донных осадков р. Рпень в целом отражает специфику источников загрязнения водотока (промышленно-урбанизированный район, сады, предприятия агропромышленного комплекса).

Во всех 12 пунктах отбора пробы донных отложений р. Каменка характеризовались высоким уровнем загрязнения кобальтом (K_c 1.56–8.12), свинцом (K_c 1.53–4.14), марганцем (K_c 2.05–8.81). В 9 из 12 пунктов отбора пробы донных отложений содержали высокие концентрации железа (K_c 1.52–2.81), в 8 – меди (K_c 1.67–2.42), в 6 – хрома (K_c 1.55–1.88). По приоритетности ТМ в донных отложениях р. Каменка образуют ряд: Co > Pb > Mn > Fe > Cu > Cr.

Основные компоненты поверхностных стоков с сельхозугодий, обработанных калийными, фосфорными и азотными удобрениями, и с территорий сельских и городских поселений, загрязненных продуктами эксплуатации транспортных средств различных видов, объединяются в группу: Pb, Co, Mn, Cr, Cu и Zn [10, 13].

О значительном вкладе транспортных средств в загрязнение экосистем исследованных малых рек свидетельствует высокое содержание Pb в составе техногенных аномалий донных отложений всех исследованных водотоков.

Сравнительная оценка уровня техногенного загрязнения русел исследованных водотоков ТМ проводилась нами также по значениям суммарного показателя загрязнения (Z_c), отражающего аддитивное превышение фонового содержания элементов, входящих в состав техногенных геохимических аномалий [2]. По значениям суммарно-

го показателя загрязнения донных отложений ТМ исследованные водотоки образовали ряд: Содышка (14.0–133.0) > Каменка (21.5–61.0) > Рпень (4.5–21.9) > Илевна (2.8–12.2).

По значениям коэффициентов концентрации ТМ, загрязняющие донные отложения малых водотоков, условно принято делить на три группы [12]:

– металлы, концентрация которых превышает фоновый уровень более 1.5 раза (K_c > 1.5);

– металлы, с концентрацией, близкой к фоновым (K_c от 0.70 до 1.5);

– металлы, с концентрацией ниже фоновых (K_c ≤ 0.70).

Из 36 проанализированных проб донных отложений р. Рпень коэффициенты концентрации с превышением более 1.5 имели 88.9% проб по Pb; 77.8% – по Cu; 55.6% – по Cr; 44.4% образцов по Co, Zn, Fe и Mn. Ниже фоновой концентрации содержались Zn, Fe, Mn в 22.2% проб.

В донных отложениях р. Содышка элементы с коэффициентами концентрации выше 1.5 содержались в анализированных пробах: по Co – 100%, Pb – 87.5%, Cr – 75.0%, Mn – 75.0%, Cu – 62.5%, Cu – 50.0%. Ниже фоновой были коэффициенты концентрации в пробах: Fe – 100%, Zn, Cr, Cu – 12.5%.

В донных отложениях р. Каменка коэффициенты концентрации, существенно превышающие 1.5, обнаружены по Co, Pb, Mn в 100% проб, Cu – в 66.7%, Cr – в 50.0% и Zn лишь в 16.7% проб. Ниже фона имели уровень содержания Zn – 25.0% проб и Cu – 16.7% проб.

В геохимических аномалиях донных отложений р. Илевна коэффициент концентрации более 1.5 имели следующие металлы (в процентах от количества проанализированных образцов): Pb (100); Cu (63.6); Cr (36.4), Co (9.1); Zn (9.1). Пробы донных отложений р. Илевна, содержащих металлы ниже фонового уровня, образуют ряд: Cu – 9.0%; Cr – 27.3%; Co – 72.7%; Zn – 72.7%; Fe – 81.8%; Mn – 81.8%.

Таблица 2. Корреляционные зависимости между концентрациями ТМ и содержанием фосфатов в донных отложениях исследованных рек

Водоток	Металл	Коэффициент корреляции, r	Доверительный интервал, p
Илевна	Cu	0.83	0.002
	Cr	0.91	0.002
	Zn	0.81	0.002
	Fe	0.69	0.019
	Mn	0.62	0.043
Каменка	Pb	0.58	0.047
	Fe	0.65	0.022
Рпень	Cu	0.75	0.020
	Zn	0.69	0.041
	Fe	0.71	0.033
	Mn	0.75	0.020

Для донных отложений исследованных рек характерно также аномально высокое загрязнение соединениями фосфора (см. табл. 1), что связано с поступлением стоков с птицефабрик, животноводческих комплексов, территорий сельхозугодий, сельских и городских поселений, не имеющих канализации, и высокой биологической продуктивностью гидроэкосистем, вследствие процессов эвтрофикации.

По уровню загрязнения донных отложений фосфатами водотоки расположились в ряд: Содышка > Рпень > Каменка > Илевна. Максимальный уровень загрязнения донных отложений фосфатами характерен для р. Содышка, которая служит приемником сточных вод двух крупнейших птицефабрик региона и хозфекальных стоков множества небольших сельских поселений и СНТ, расположенных на водосборной территории, а р. Рпень – стоков с территорий сельских поселений, ГУП “Тепличный” и г. Владимир. Минимальный уровень загрязнения фосфатами имеют донные осадки р. Илевна, поскольку существенная часть водосборного бассейна водотока расположена на малонаселенной территории Муромского Предочья.

Тяжелые металлы в донных отложениях могут накапливаться в виде труднорастворимых фосфатов, адсорбироваться на оксидах железа и марганца, глинистыми минералами и органическим веществом, а также образовывать малорастворимые соединения в восстановительно-сульфидной среде [7]. Исходя из этого представляло интерес изучение корреляционных зависимостей между различными компонентами донных отложений. Нами обнаружена хорошая корреляция между концентрациями ТМ и содержанием фосфатов донных отложений р. Рпень и Илевна и удовлетворительная для р. Каменка (табл. 2).

Отсутствие корреляционных зависимостей между компонентами донных отложений рек связано с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения экосистем водотоков растворимыми солями (солевой эффект) [9].

В табл. 3 представлены данные по усредненной антропогенной нагрузке ТМ и фосфат ионов в изученных водотоках.

Таким образом, максимальной антропогенной нагрузке подвергается р. Содышка, минимальной – р. Илевна, что главным образом связано с населенностью и степенью освоенности их водосборных территорий. По величине усредненной антропогенной нагрузки на исследованные водотоки загрязняющие вещества образовали ряд $Fe > PO_4^{3-} > Mn > Zn > Cr > Cu > Co > Pb$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Донные отложения исследованных малых рек Владимирской обл. имеют аномально высокие уровни загрязнения тяжелыми металлами и фосфатами. В донных осадках рек сформировалось множество техногенных полиметаллических геохимических аномалий. Качественный состав ассоциаций элементов геохимических аномалий донных отложений адекватно отражает специфику источников загрязнения водотоков. По величине Z_c ТМ в донных отложениях рассмотренные водотоки образуют ряд: Содышка > Каменка > Рпень > Илевна, а по уровню загрязнения фосфатами последовательность: Содышка > Рпень > Каменка > Илевна.

Таблица 3. Значения усредненных величин антропогенной нагрузки (УАН) на водотоки (мг/км)

Водоток	ТМ							PO_4^{3-}
	Pb	Cu	Cr	Co	Zn	Fe	Mn	
Илевна	2.57	2.18	3.63	0.29	1.98	299.67	19.46	51.43
Каменка	5.28	6.09	11.80	4.27	9.22	2485.24	311.95	130.99
Рпень	7.90	9.62	17.35	2.37	20.92	2741.83	201.75	335.52
Содышка	11.75	12.16	30.73	9.87	55.20	924.33	492.21	2315.25

Приоритетными компонентами геохимических аномалий р. Содышка явились Co, Pb, Cr, Mn, р. Рпень – Pb, Cu, Cr, р. Каменка – Co, Pb, Mn, Cu, р. Илевна – Pb, Cu.

Рассчитаны усредненные значения антропогенной нагрузки на малые реки. По величине УАН на исследованные водотоки загрязняющие вещества образовали ряд: $\text{Fe} > \text{PO}_4^{3-} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Pb}$.

При изменении гидрохимических, гидродинамических, кислотно-основных, окислительно-восстановительных условий в гидроэкосистеме, увеличении ионной силы водной фазы донные отложения становятся источниками вторичного загрязнения рек ТМ, фосфатами, токсичными органическими веществами, что вызовет эвтрофикацию и токсификацию гидроэкосистемы, нарушение кислородного режима и процессов самоочищения, что приведет к гибели наиболее чувствительной части гидробиоты и деградации гидроэкосистемы. Это свидетельствует о необходимости проведения срочной расчистки наиболее загрязненных участков русел от донных отложений рек Содышка, Каменка и Рпень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубенов Р.Н., Борисенко В.И., Даниленко А.А., Бубенова Л.А. О некоторых аспектах оценки негативного антропогенного воздействия на качество поверхностных водных объектов в системе обеспечения экологической безопасности // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. № 4. С. 147–156. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-147-156>
2. Геохимия окружающей среды / [Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др.]. М.: Недра, 1990. 335 с.
3. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЭОС, 2007. 252 с.
4. Коломийцев 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. 2015. № 6. С. 15–19.
5. Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю., Ильина Т.А. Геоэкологические характеристики современных донных отложений озера Селигер вблизи города Осташкова // Экологические системы и приборы. 2022. № 1. С. 15–23. <https://doi.org/10.25791/esip.1.2022.1278>
6. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М 049-П/04. СПб.: ООО НПО “Спектрон”, 2004. 20 с.
7. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / [Сост. Б.А. Ревич и др.]. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
8. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 228 с.
9. Сатаров Г.А. Экологические аспекты применения агрохимикатов // Ульяновский медико-биологический журнал. 2013. № 1. С. 138–147.
10. Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. М.: Высшая школа, 1994. 400 с.
11. Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И. Загрязнение тяжелыми металлами донных отложений реки Пекши и оценка техногенной нагрузки // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2020. № 4 (164). С. 68–71.
12. Янин Е.П. Техногенные илы в реках Московской области: (геохим. особенности и экол. оценка). М.: ИМГРЭ, 2004. 96 с.
13. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Taylor and Francis Group, LLC, 2011. 505 p.

ASSESSMENT OF BOTTOM SEDIMENT POLLUTION IN SMALL RIVERS, VLADIMIR REGION

S. M. Chesnokova^{a,*} and O. V. Savel'ev^{a,##}

^aStoletovy Vladimir State University, ul. Gor'kogo 87, Vladimir, 600000 Russia

^{*}E-mail: chesnokova.chemist@mail.ru

^{##}E-mail: olegator86@bk.ru

The results of assessing pollution of bottom sediments in four small rivers of the Vladimir region with heavy metals (HM) and phosphates are presented. According to HM concentration coefficients characterizing the concentration (anomaly) of elements in bottom sediments in respect to their background content in the region, the zones of technogenic multi-element geochemical anomalies in the channels of all studied watercourses and their structure were identified. It has been established that Fe, Pb, Co, Cu, Zn, Cr, and Mn are the priority metals of technogenic geochemical anomalies in bottom sediments. The highest pollution of bottom sediments with these metals is typical for the zones influenced by the runoff from the territories of collective orchards, livestock complexes, large industrial cities and rural settlements. According to the total pollution indicator (Zc), which reflects the additive excess of the background content of a group of heavy metals that are part of technogenic geochemical anomalies, the studied watercourses are located in the following or-

der: Sodyshka > Kamenka > Rpen > Ilevna, and according to the phosphate content: Sodyshka > Rpen > Kamenka > Ilevna. Correlations between the components of bottom sediments have been studied. The average load of heavy metals and phosphates on watercourses was assessed.

Keywords: *small rivers, bottom sediments, polymetallic geochemical anomalies, phosphates, average anthropogenic load, dependencies*

REFERENCES

1. Bubenov, R.N., Borisenko, V.I., Danilenko, A.A., Bubenova L.A. *O nekotorykh aspektakh otsenki negativnogo antropogennogo vozdeistviya na kachestvo poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov v sisteme obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti* [On some aspects of assessing the negative anthropogenic impact on the quality of surface water bodies in the system of ensuring environmental safety]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*, 2018, vol. 13, no 4, pp. 147–156. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-147-156>. (in Russian)
2. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental geochemistry]. Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin, et al. Moscow, Nedra Publ., 1990, 335 p. (in Russian)
3. Datsenko, Yu.S. *Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskie aspekty* [Eutrophication of water reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects]. Moscow, GEOS Publ., 2007, 252 p. (in Russian)
4. Kolomiitsev, N.V., Korzhenevskii, B.I., Il'ina, T.A., Get'man, E.N. *Otsenka tekhnogennoi nagruzki na vodnye ob'ekty po zagryaznennosti donnykh otlozhenii* [Estimation of technogenic load on water bodies based on pollution of bottom sediments]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo*, 2015, no. 6, pp. 15–19. (in Russian)
5. Korzhenevskii, B.I., Kolomiitsev, N.V., Tolkachev, G.U., Il'ina, T.A. *Geoekologicheskie kharakteristiki sovremennykh donnykh otlozhenii ozera Seliger vblzi goroda Ostashevsk* [Geoecological characteristics of modern bottom sediments of Lake Seliger near the city of Ostashevsk]. *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2022, no. 1, pp. 15–23. <https://doi.org/10.25791/esip.1.2022.1278>. (in Russian)
6. *Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli metallov i oksidov metallov v poroshkoobraznykh probakh pochv metodom rentgeno fluoressentnogo analiza* [Method for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powdered soil samples by X-ray fluorescence analysis]. St. Petersburg, OOO NPO "Spektron", 2004, 20 p. (in Russian)
7. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami* [Guidelines for the geochemical assessment of pollution of urban areas with chemical elements]. B.A. Revich, Yu.E. Saet, R.S. Smirnova, E.P. Sorokina. Moscow, IMGRE Publ., 1982, 112 p. (in Russian)
8. Nezhikhovskii, R.A. *Gidrologo-ekologicheskie osnovy vodnogo khozyaistva* [Hydrological and ecological foundations of water management]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 228 p. (in Russian)
9. Satarov, G.A. *Ekologicheskie aspekty primeneniya agrokhimikatov* [Environmental aspects of the use of agrochemicals]. *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal*, 2013, no. 1, pp. 138–147. (in Russian)
10. Skurlatov, Yu.I., Duka, G.G., Miziti, A. *Vvedenie v ekologicheskuyu khimiyu* [Introduction to environmental chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1994, 400 p. (in Russian)
11. Tolkachev, G.Yu., Korzhenevskii, B.I. *Zagryaznenie tyazhelyimi metallami otlozhenii reki Pekshi i otsenka tekhnogennoi nagruzki* [Pollution of bottom sediments in Peksha river with heavy metals and estimation of technogenic load]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*, 2020, no. 4 (164), pp. 68–71. (in Russian)
12. Yanin, E.P. *Tekhnogenne ily v rekakh Moskovskoi oblasti: (geokhim. osobennosti i ecol. otsenka)* [Technogenic silts in the rivers of Moscow region: (geochemical features and ecological assessment)]. Moscow, IMGRE Publ., 2004, 96 p. (in Russian)
13. *Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants*. 4th ed. Taylor and Francis Group, LLC, 2011, 505 p.