УДК 550.42:504.054 EDN VXKMKB
DOI 10.29003/m4331.0514-7468.2020_46_4/418-428

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОННЫХ ОСАДКОВ ВОДОТОКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ВОЛЬСК (САРАТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.С. Шешнёв, М.В. Решетников, О.А. Герасимов*

На территории города Вольск (Саратовская область) два основных водотока в течение многих десятилетий выполняют функции транзита канализационных стоков в Волгоградское водохранилище. По длине водотоков (Верхняя и Нижняя Малыковка) проведён отбор проб донных осадков с целью анализа специфики химического состава аллювиальных образований в условиях техногенного воздействия. Доля техногенных частиц (пластик, уголь, краска, синтетические волокна и прочее) составляет 4–20 %. По химическому составу аллювий представлен силицитами разной степени глинизации. На участках поступления в водотоки сточных вод донные осадки характеризуются как глинистые силициты, отмечается максимальное содержание тяжёлых металлов и органического вещества (по величине потерь при прокаливании). Наиболее характерно загрязнение цинком, свинцом и барием. Общий уровень техногенного загрязнения донных осадков высокий и лишь в верховье Нижней Малыковки значительный. В целях улучшения экологического состояния водотоков необходим комплекс мероприятий, в т. ч. реконструкция и создание новых инфраструктурных объектов городской среды.

Ключевые слова: *химический состав, донные осадки, тяжёлые металлы, геоэкологическая оценка, Вольск, Саратовская область.*

Ссылка для цитирования: *Шешнёв А.С., Решетников М.В., Герасимов О.А.* Химический состав и геоэкологическая оценка донных осадков водотоков на территории города Вольск (Саратовская область) // Жизнь Земли. 2024. Т. 46, № 4. С. 418–428. DOI: 10.29003/m4331.0514-7468.2020_46_4/418-428 .

Поступила 19.11.2024 / Принята к публикации 04.12.2024

CHEMICAL COMPOSITION AND GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF BOTTOM SEDIMENTS OF WATERCOURSES IN THE TOWN OF VOLSK (SARATOV REGION)

A.S. Sheshnev[1], PhD, M.V. Reshetnikov[2], PhD, O.A. Gerasimov[1]

[1] Saratov National Research State University, Saratov
[2] LUKOIL-Engineering, Kogalym

For many decades, two main watercourses in the town of Volsk (Saratov region) have been serving the transit function of sewage effluents to the Volgograd reservoir. Sampling of bottom sediments was carried out along the length of the Verkhnyaya and Nizhnyaya Malykovka watercourses in order to analyze the specificity of the chemical composition of alluvial formations under technogenic impact conditions. The fraction of technogenic particles (plastics,

* Шешнёв Александр Сергеевич – к.г.н., заведующий лабораторией геоэкологии Саратовского национального исследовательского государственного университета, *sheshnev@inbox.ru*, https://orcid.org/0000-0003-3566-8652; Решетников Михаил Владимирович – к.г.н., начальник отдела ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», *Mikhail.Reshetnikov@lukoil.com*, https://orcid.org/0000-0001-8298-029X; Герасимов Олег Александрович – инженер лаборатории геоэкологии Саратовского национального исследовательского государственного университета, *gerasimov_oa@bk.ru*, https://orcid.org/0000-0003-3837-6938.

coal, paint, synthetic fibers, etc.) was 4–20%. In terms of chemical composition, alluvium is represented by silicites with varying degrees of clay content., Bottom sediments are characterized as clay silicites, with the maximum content of heavy metals and organic matter (based on the value of loss on ignition) in the areas where wastewater enters the watercourses. The most typical contamination is with zinc, lead, and barium. The overall level of technogenic pollution of bottom sediments is high and can be named considerable in the upper reaches of the Nizhnyaya Malykovka watercourse only. In order to improve the ecological status of the watercourses, a set of measures is needed, including reconstruction and the creation of new infrastructure facilities of the urban environment.

Keywords: *chemical composition, bottom sediments, heavy metals, geoecological assessment, Volsk, Saratov region.*

For citation: Sheshnev, A.S., Reshetnikov, M.V., Gerasimov, O.A., "Chemical composition and geoecological assessment of bottom sediments of watercourses in the town of Volsk (Saratov region)", *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **46**, no 4, 418–428 (2024) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m4331.0514-7468.2020_46_4/418-428.

Введение. Город Вольск Саратовской области расположен на правом берегу Волгоградского водохранилища в условиях холмистого рельефа Приволжской возвышенности. Численность населения составляет 53,2 тыс. чел. (2024). Город обладает официальными статусами моногорода и исторического поселения федерального значения. Вольск и его окрестности широко известны в геологической литературе благодаря карьерам цементных заводов, в которых обнажаются верхнемеловые отложения [7], и широкому развитию оползней на волжских берегах. На карбонатных породах развиты ландшафтные комплексы с занесёнными в Красную книгу Российской Федерации и Саратовской области растениями-кальцефилами, один из участков которых образует памятник природы [6].

В связи с развитием цементной, металлургической, машиностроительной и других отраслей в Вольске складывается неблагоприятная экологическая обстановка. Высокая концентрация токсичных химических элементов в почвах объясняется пылевыми выпадениями промышленных предприятий по производству цемента [5]. Химический анализ состава портландцементов показывает высокое содержание токсичных и потенциально токсичных микроэлементов, образующихся при технологической переработке цементного сырья – мела, глины, колчедана и гипса [4].

В течение всего времени существования Вольска большая часть городской территории не была обеспечена очистными канализационными сооружениями, а сточные воды направлялись в водотоки внутри населённого пункта и в Волгу. В последние годы введена первая очередь очистных сооружений, однако пусконаладочные работы не выполнены должным образом и загрязнённый сток по-прежнему поступает в Волгоградское водохранилище. Практически весь массив индивидуальной жилой застройки не подключён к сетям канализации и часто осуществляет сброс в городские водотоки. Это относится и к ряду общественных зданий и промышленных объектов. В 2023 г. из 4,33 млн м^3 общегородского объёма сброса сточных вод загрязнённые составили 2,46 млн м^3, или 56,8 %. Главным источником загрязнения поверхностных водных объектов в результате сброса неочищенных сточных вод служит Вольский филиал «Облводоресурс»[1].

Бóльшая часть городской территории дренируется двумя водотоками – Верхней и Нижней Малыковками. В их расходе значительная доля принадлежит сточным водам, поступающим без предварительной очистки со стороны жителей частного сектора, ряда промышленных предприятий и от других источников. Исследования качества вод этих

[1] О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2023 году (https://minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=5188).

водотоков выявило их неудовлетворительное состояние и поступление загрязняющих веществ в Волгоградское водохранилище [12].

Изучение состава и оценка загрязнения донных осадков водотоков урбанизированных территорий является важной экологической и геохимической задачей. Актуальность исследований связана в т. ч. с тем, что с 2021 г. в Вольске проводится реконструкция берегоукрепительных сооружений с обустройством пляжа протяжённостью 400 м. К верхнему молу набережной прилегает устье Верхней Малыковки и обеспечение нормативного качества вод и донных грунтов в районе будущего пляжа представляется важной экологической и гигиенической задачей. Авторами проведено обследование городских водотоков с отбором проб донных осадков с целью анализа их химического состава и проведения геоэкологической оценки.

Материалы и методы. Отбор донных осадков проведён от истока к устьям водотоков (**рис. 1**). По каждому створу пластиковым совком во избежание загрязнения из приповерхностного слоя (до 2 см) отобрано 3–5 частных проб, составивших объединённую. Материал просушен при комнатной температуре и проведено его квартование.

Рис. 1. Схема отбора проб донных осадков.
Fig. 1. Bottom sediment sampling scheme.

По диагностическим признакам на бинокулярном стереоскопическом микроскопе МБС-10 выполнено разделение частиц по происхождению на природные (минеральные и биогенные) и техногенные. Процентное содержание частиц разного генезиса определено по сравнительным графическим таблицам. Определение массовой доли (валового содержания) петрогенных оксидов и элементов методом рентгенофлуоресцентного анализа выполнено на вакуумном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан МАКС-GVM» (НПО «Спектрон»). Порошковая проба стандартной навески подготовлена для анализа путём измельчения средней пробы дисковым истирателем до крупности частиц ≤71 мкм. Анализ включал два параллельных определения из каждой пробы. Метод активно применяется при эколого-геохимических исследованиях донных отложений [1, 11].

Для характеристики химического состава донных осадков рассчитаны петрохимические модули: гидролизатный (ГМ) – $(Al_2O_3+TiO_2+Fe_2O_3+FeO)/SiO_2$, алюмокремниевый (АМ) – Al_2O_3/SiO_2, железный (ЖМ) – $(Fe_2O_3+FeO+MnO)/(Al_2O_3+TiO_2)$, плагиоклазовый (ПМ) – $(CaO+Na_2O)/K_2O$, зрелости (МЗ) – SiO_2/Al_2O_3, органокремниевый (ОМ) – ППП/SiO_2, карбонатности (МК) – CaO/MgO.

Данные о фоновом содержании элементов для оценки загрязнённости приняты по сведениям Г.П. Гудошниковой и В.Н. Зайонца ($n\times10^{-3}$ %): Mn – 29, V – 5,5, Cr – 8,0, Ni – 7,3, Cu – 3,3, Zn – 0,8, Sr – 19,0, Ba – 6,0, Pb – 0,86 [2]. Поэлементное количественное значение степени техногенного загрязнения донных осадков оценивалось по коэффициенту загрязнения, вычисляемому делением фактической концентрации элемента на его фоновое содержание [14]. Коэффициент загрязнения аналогичен традиционному коэффициенту концентрации в геохимии: $K_c = C_i / C_ф$, где C_i – фактическая концентрация элемента, $C_ф$ – фоновая концентрация. Поэлементное загрязнение донных осадков оценивалось по схеме: $K_c < 1$ – загрязнение отсутствует; $1 \le Kc < 3$ – умеренное; $3 \le Kc < 6$ – значительное; $Kc \ge 6$ – высокое[2].

Общая оценка степени химического загрязнения осадков выполнена по суммарному показателю загрязнения Z_c: $Z_c = \Sigma K_c - (n-1)$, где K_c – коэффициент концентрации компонента загрязнения; n – число суммируемых веществ, коэффициент концентрации которых выше 1,0. Классификация загрязнения донных осадков по Z_c выполняется согласно шкале: <10 – слабый, 10–30 – средний, 30–100 – высокий, 100–300 – очень высокий, >300 – чрезвычайно высокий уровень техногенного загрязнения [9, 13].

Составлены формулы геохимической ассоциации – ранжированные по убыванию ряды химических элементов по значениям K_c [8], характеризующие структуру техногенной геохимической аномалии.

Результаты и обсуждение. Водосборные бассейны водотоков сложены палеогеновыми (песками и песчаниками) и верхнемеловыми отложениями (в основном белым писчим мелом), а в устьевой части эрозии подвержены альбские глины. Склоны долин водотоков покрыты чехлом делювиальных отложений мощностью до 2 м, преимущественно суглинков с обилием щебня местных пород. В устьевой части водотоков и их поймах распространены четвертичные аллювиальные пески, супеси и суглинки.

В составе обоих водотоков обнаруживается общая тенденция к увеличению доли и разнообразия техногенных частиц от истока к устью (**табл. 1**). Это связано, в первую очередь, со спецификой источников поступления техногенного материала на разных участках русел водотоков. Часть материала, особенно тяжёлых частиц, может депониро-

[2] Фоновое содержание тяжёлых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан. Региональные нормативы (http://pravo.tatarstan.ru/rus/oiv/min/eco/?npa_id=352971).

ваться недалеко от места привноса, другие же транспортируются вплоть до приёмного бассейна – Волгоградского водохранилища. Типичными часто встречаемыми техногенными частицами являются уголь и чёрные сферулы, что связано с преимущественно частной застройкой вдоль русел водотоков и сжиганием топлива.

Таблица 1. Содержание частиц разного происхождения, %
Table 1. Contents of particles of various origin, %

Состав	Номер проб									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объект	*Верхняя Малыковка*					*Нижняя Малыковка*				
Природные частицы	92	85	96	82	86	95	93	90	93	80
в т. ч. минеральные	89	82	91	81	85	94	83	87	92	75
в т. ч. биогенные	3	3	5	1	1	1	10	3	1	5
Техногенные частицы	8	15	4	18	14	5	7	10	7	20

В верховье Верхней Малыковки около горнолыжной базы (т. 1) встречаются уголь, палочковидные частицы, синтетические волокна. Ниже по течению в районе гаражного массива (т. 2) техногенный материал представлен углем, частицами пластика, спекшимися сферулами чёрного цвета. В районе городского парка (т. 3) доля техногенных частиц понижается, встречены палочковидные частицы и единично уголь. В пробе предустьевого участка (т. 4) обнаружены спекшиеся сферулы чёрного цвета, мелкие частицы угля, шлак. Устьевая часть Верхней Малыковки (т. 5), как и Нижней Малыковки, затапливается в половодье водами водохранилища, поэтому в составе осадков большое содержание хорошо окатанного кварца; встречены техногенные частицы – сферулы чёрного и молочного цвета, краска, единичные синтетические волокна.

В верховье Нижней Малыковки (т. 6) в осадках встречены частицы угля и относительно крупные чёрные сферулы. В пробе, расположенной ниже пруда (т. 7), обнаружены обломки пластика, молочного цвета сферулы, палочковидные частицы. В правостороннем притоке (т. 8) присутствует значительное число крупных частиц угля, синтетические волокна, сферулы чёрного цвета, частицы асбеста. В предустьевой пробе (т. 9) выявлены уголь, металлические частицы, единичные синтетические волокна, чёрные и прозрачные сферулы, шлак, чёрные палочковидные частицы. В затапливаемом волжскими водами при половодье устье Нижней Малыковки (т. 10) встречены разнообразные техногенные частицы: краски, шлак, уголь, синтетические волокна, сферулы чёрного цвета и палочковидные частицы неясного происхождения.

В **табл. 2** представлены результаты химического анализа состава донных осадков, в **табл. 3** – расчётные величины загрязнения относительно регионального фона.

На участках поступления сточных вод в русле формируются илистые осадки, отличающиеся от природного аллювия (верховье Нижней Малыковки, устья водотоков) меньшим содержанием SiO_2, большими величинами ППП (органического вещества), оксидов Al, Fe и Ca. В качестве индикатора обогащения (и загрязнения) органическим веществом и карбонатами наряду с ППП может рассматриваться повышенное содержание P_2O_5 и органокремниевого модуля. Повышенные значения железного модуля указывают на обогащение техногенных осадков железом (**табл. 4**).

Более высокие величины плагиоклазового модуля фиксируются на участках накопления осадков сточных вод за счёт их повышенной известковистости. На участках

Таблица 2. Химический состав проб, мас. %
Table 2. Chemical composition of the samples, wt. %

Номер проб	ППП и породообразующие элементы (оксиды), %											
	ППП	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	Fe_3O_4	MnO	TiO_2	$S_{сумм}$
Верхняя Малыковка												
1	17,125	0,571	1,08	7,37	52,39	0,747	1,649	14,63	3,36	0,032	0,518	0,327
2	15,572	0,67	1,23	7,22	57,46	0,965	1,8	10,49	3,35	0,028	0,509	0,429
3	26,234	0,513	1,66	6,75	40,46	0,798	1,525	16,50	4,15	0,07	0,499	0,626
4	5,822	0,547	0,85	3,83	77,00	0,265	1,029	8,39	1,50	0,028	0,291	0,14
5	6,015	0,573	0,72	4,01	79,27	0,35	0,981	6,01	1,12	0,01	0,238	0,478
Нижняя Малыковка												
6	10,665	0,571	0,66	6,73	67,01	0,175	1,654	9,46	2,31	0,055	0,458	0,087
7	26,726	0,529	1,05	6,00	41,94	0,645	1,374	17,23	2,8	0,018	0,413	1,118
8	19,547	0,526	1,14	7,94	50,91	0,359	1,622	12,73	4,12	0,159	0,52	0,241
9	18,182	0,562	1,35	6,21	52,89	0,573	1,708	13,31	3,42	0,026	0,495	0,933
10	7,764	0,6	0,59	4,42	77,61	0,312	0,95	5,58	1,45	0,019	0,299	0,194

Номер проб	Элементы-примеси, $n \times 10^{-3}$ %										
	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Ba	Pb
Верхняя Малыковка											
1	7,3	14,2	6,7	4,4	20,9	5,2	12,9	14,3	1,0	103,1	2,0
2	7,4	12,2	6,8	6,6	46,8	5,6	13,8	27,7	1,1	147,9	4,1
3	8,7	22	10,1	6,2	24,4	5,2	17,7	11,8	1,1	110,7	3,4
4	4,0	н.о.	4,1	3,2	9,7	3,7	4,7	55,6	1,1	216	3,1
5	2,1	н.о.	2,8	1,7	11,6	2,9	1,4	34,2	1,0	153,1	2,9
Нижняя Малыковка											
6	5,4	3,0	5,1	0,5	5,8	4,8	7,2	13,8	0,9	112,8	1,4
7	5,7	16,4	6,4	3,4	10,3	4,2	20,8	2,3	0,9	79,1	1,6
8	7,4	9,2	8,2	4,5	14,2	6,0	17,6	8,2	1,0	91,2	2,4
9	8,9	12,7	7,8	4,6	14,2	5,8	20,2	44,5	1,3	209,7	3,3
10	2,5	4,2	3,5	1,9	10,1	3,3	3,3	28,7	1,0	149,2	2,0

Примечание: ППП – потери при прокаливании; н.о. – ниже предела обнаружения

Таблица 3. Расчётные величины загрязнения донных осадков
Table 3. Calculated pollution values of the bottom sediments

Номер проб	K_c									Z_c	Уровень загрязнения по Z_c
	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	Mn		
Верхняя Малыковка											
1	1,33	1,78	0,92	1,33	26,13	0,68	17,18	2,33	0,85	45,08	высокий
2	1,35	1,53	0,93	2	58,5	0,73	24,65	4,77	0,75	87,8	высокий
3	1,58	2,75	1,38	1,88	30,5	0,93	18,45	3,95	1,87	55,36	высокий
4	0,73	–	0,56	0,97	12,13	0,25	36	3,6	0,75	49,73	высокий
5	0,38	–	0,38	0,52	14,5	0,07	25,52	3,37	0,27	41,39	высокий
Нижняя Малыковка											
6	0,98	0,38	0,7	0,15	7,25	0,38	18,8	1,63	1,47	26,15	средний
7	1,04	2,05	0,88	1,03	12,88	1,09	13,18	1,86	0,48	27,13	средний
8	1,35	1,15	1,12	1,36	17,75	0,93	15,2	2,79	4,25	37,97	высокий
9	1,62	1,59	1,07	1,39	17,75	1,06	34,95	3,84	0,69	56,27	высокий
10	0,45	0,53	0,48	0,58	12,63	0,17	24,87	2,33	0,51	37,83	высокий

Таблица 4. Петрохимические модули донных осадков. Типизация осадков по величине гидролизатного модуля*

Table 4. Petrochemical modules of the bottom sediments. Typification of the bottom sediments by their hydrolyzate module value

Номер проб	Объект исследования	Петрохимические модули						
		АМ	ЖМ	ПМ	МЗ	ОМ	ГМ	Типизация по химической классификации [3, 10]
1	Верхняя Малыковка	0,14	0,43	9,22	7,11	0,33	0,21	глинистые силициты
2		0,13	0,44	6,20	7,96	0,27	0,19	слабоглинистые силициты
3		0,17	0,58	11,16	5,99	0,65	0,28	глинистые силициты
4		0,05	0,37	8,69	20,10	0,08	0,07	силициты
5		0,05	0,27	6,71	19,77	0,08	0,07	силициты
6	Нижняя Малыковка	0,1	0,33	6,06	9,96	0,16	0,14	слабоглинистые силициты
7		0,14	0,44	12,93	6,99	0,64	0,22	глинистые силициты
8		0,16	0,51	8,17	6,41	0,38	0,25	глинистые силициты
9		0,12	0,51	8,12	8,52	0,34	0,19	слабоглинистые силициты
10		0,06	0,31	6,51	17,56	0,1	0,08	силициты

* *Модули:* АМ – алюмокремниевый, ЖМ – железный, ПМ – плагиоклазовый, МЗ – зрелости, ОМ – органокремниевый, МК – карбонатности, ГМ – гидролизатный

фонового и близкого к фоновому накопления руслового аллювия алюмокремниевый модуль имеет малые значения за счёт потери алюминия песчаными фракциями. При поступлении в русло техногенного материала происходит обогащение донных осадков обломочными алюмосиликатами и глинами, фиксируются повышенные значения плагиоклазового и алюмокремниевого модулей и пониженные величины модуля зрелости.

По величине гидролизатного модуля терригенные и кремнистые породы классифицируются на: <0,1 – силициты, 0,1–0,2 – слабоглинистые силициты, 0,2–0,3 – глинистые силициты, 0,3–0,5 – глинистые породы, >0,5 – гидролизатные глинистые породы [3, 10]. Глинистые и слабоглинистые силициты в верховье и среднем течении Верхней Малыковки сменяются силицитами в нижнем течении. В аллювиальных образованиях Нижней Малыковки слабоглинистые силициты в верховье сменяются глинистыми в среднем течении и правостороннем притоке, в нижнем течении осадки вновь определяются как слабоглинистые силициты, а по устьевому створу – как силициты (см. табл. 4).

Качественный состав и структуру геохимической аномалии характеризуют геохимические ассоциации (**табл. 5**). Основной вклад в формирование аномалий вносят Zn, Ba и Pb. Уровень техногенного загрязнения донных осадков Верхней Малыковки повсеместно высокий, достигает максимальных значений в гаражном массиве (т. 2) и постепенно уменьшается к устью. Верховье Нижней Малыковки характеризуется средним уровнем техногенного загрязнения; высокое загрязнение металлами фиксируется на участках русла в окружении селитебной застройки.

Величина потерь при прокаливании обнаруживает связь с источниками поступления сточных вод органического происхождения (см. табл. 2). Максимум ППП в осадках Верхней Малыковки (26,2 %) приурочен в обширному частному сектору без централизованной канализации, к тому же продольный уклон водотока на участке минимальный, что способствует выпадению взвешенного и влекомого материала из водотока и накоплению илистого органического вещества в русловых осадках. В донных осадках Нижней Малыковки максимум ППП отмечен на участке ниже по течению от пруда и

Таблица 5. Геохимические ассоциации в донных осадках*
Table 5. Geochemical associations in the bottom sediments

Номер проб	Формула геохимической ассоциации
Верхняя Малыковка	
1	$Zn_{26,13}$–$Ba_{17,18}$–$Pb_{2,33}$–$Cr_{1,78}$
2	$Zn_{58,5}$– $Ba_{24,65}$–$Pb_{4,77}$–Cu_2–$Cr_{1,53}$
3	$Zn_{30,5}$–$Ba_{18,45}$–$Pb_{3,95}$–$Cr_{2,75}$–$Cu_{1,88}$–$Mn_{1,87}$–$V_{1,58}$
4	Ba_{36}–$Zn_{12,13}$–$Pb_{3,6}$
5	$Ba_{25,52}$–$Zn_{14,5}$–$Pb_{3,37}$
Нижняя Малыковка	
6	$Ba_{18,8}$–$Zn_{7,25}$–$Pb_{1,63}$
7	$Ba_{13,18}$–$Zn_{12,88}$–$Cr_{2,05}$–$Pb_{1,86}$
8	$Zn_{17,75}$–$Ba_{15,2}$–$Mn_{4,25}$–$Pb_{2,79}$
9	$Ba_{34,95}$–$Zn_{17,75}$–$Pb_{3,84}$–$V_{1,62}$–$Cr_{1,59}$
10	$Ba_{24,87}$–$Zn_{12,63}$–$Pb_{2,33}$

* Индексы около символов металлов – коэффициенты концентрации K_c>1,5

животноводческого комплекса (26,7 %). Наличие веществ органического происхождения чётко фиксируется и по органолептическим признакам.

В устьевых частях обоих водотоков величина ППП резко уменьшается (6–7,8 %), что связано с увеличением уклона русла и усиленной глубинной эрозией со слабой аккумуляцией материала; устьевые части затапливаются во время волжского половодья и накопившийся в русле водотоков материал выносится. Фактор уклона и опесчанивания наносов действует и в случае предустьевой пробы Верхней Малыковки.

Вероятно, в верховье Нижней Малыковки величина ППП (10,7 %) близка к фоновому значению, и формируется за счёт природных процессов поступления почвенного гумуса при плоскостном смыве и разложении листового опада. На большей части обоих водотоков величина ППП фиксирует загрязнение донных осадков веществами органической природы.

Микроэлементы. *Верхняя Малыковка.* В донных осадках Верхней Малыковки один из вариантов изменения содержания элементов – увеличение концентрации от истока (т. 1) до горпарка (т. 3), а затем снижение к устью. Такое поведение характерно для V, Ni, Sr, близкое поведение у Mn. В районе горпарка отмечается и максимальное содержание Cr. Во втором варианте максимальное содержание обнаруживается во второй от истока точке (т. 2) и постепенно убывает к устью – Cu, Pb, Rb, близкое поведение у Zn. В распределении по длине водотока Zr, Nb и Ba не обнаружено чётких закономерностей (см. табл. 2); вероятно, их поступление носит диффузный характер.

По принятой методике отсутствует или умеренное загрязнение по всем пробам по V, Cr, Ni, Cu, Sr и Mn (см. табл. 3). Повсеместно высокое загрязнение Zn и Ba. Для Pb по четырём пробам обнаружено значительное загрязнение, и по одной – умеренное. Ведущая роль в загрязнении донных осадков Верхней Малыковки принадлежит Zn и Ba. Поведение Ba на урбанизированных территориях Саратовского Поволжья изучено недостаточно, а Zn, как показывают многочисленные литогеохимические исследования, относится к наиболее типичным загрязнителям.

По интегральному показателю Z_c по всему руслу осадки оцениваются высоким уровнем загрязнения (см. табл. 3). Верховье и нижнее течение сопоставимы по уровню загрязнения, а максимум отмечен в районах, окружённых гаражной и среднеэтажной застройкой, производственными объектами и военным институтом.

Нижняя Малыковка. Содержание металлов по длине водотока отражает уровень техногенной нагрузки: в большинстве случаев их максимальная концентрация отмечена в предустьевой пробе после поступления всех основных притоков с урбанизированной территории. От истока к пробе 9 возрастает содержание V, Ni, Cu, Zn, Nb, Pb (близкое поведение характерно для Rb, Zr и Ba), а в устьевой части, затапливаемой в половодье, содержание этих элементов уменьшается из-за сезонного разубоживания аллювиальных образований волжскими водами. Смещённый к верховью (т. 7) максимум отмечен для Cr и Sr. Правосторонний приток (т. 8) выделяется на фоне других проб повышенным содержанием Ni, Rb и Mn (см. табл. 2).

Отсутствует или умеренное загрязнение по V, Cr, Ni, Cu и Sr. По Pb отмечается умеренное загрязнение, и лишь по пробе 9 – значительное. Значительное загрязнение Mn отмечено в пробе 8, а по прочим оно отсутствует или умеренное. Как и для Верхней Малыковки, повсеместно фиксируется высокое загрязнение Ba и Zn (см. табл. 3).

Общий уровень загрязнения донных осадков по величине Z_c возрастает от истока к предустьевой пробе и снижается по устьевому створу (см. табл. 3). В двух первых от истока пробах уровень загрязнения средний, в нижнем течении и правостороннем притоке – высокий.

Заключение. При решении научно-прикладных задач по экологической диагностике городских территорий анализу донных осадков русловых водных потоков, как конечному звену ландшафтно-геохимических сопряжений, должно уделяться значительное внимание. В донных осадках отражаются совокупные геохимические особенности водосборов со всем многообразием природных и техногенных факторов формирования их состава. В проведённом исследовании установлено, что на участках, близких к фоновым, осадки водотоков относятся к силицитам. При поступлении сточных вод они характеризуются как слабоглинистые и глинистые силициты со сходными по качественной структуре геохимическими ассоциациями, ведущая роль в составе которых принадлежит Zn, Ba и Pb.

При научном обосновании проектов природоохранных мероприятий в бассейне Волги значимы не только исследования крупнейших источников техногенного воздействия, но и относительно небольших, но постоянно действующих. Система мониторинга не может ограничиваться узкой полосой вдоль берегов водохранилищ, а должна включать наблюдения за исторически сформировавшимися зонами экологического неблагополучия. На территории Вольска, например, наиболее загрязнённые донные осадки зафиксированы в средних частях водотоков, а в устьевых створах наблюдается рассеяние химических элементов. Водный и твёрдый сток городских водотоков поступает в Волгоградское водохранилище непрерывно, поэтому без проведения мероприятий по рекультивации русел на всём их протяжении невозможно предупреждение загрязнения Волги. Учитывая характер источников загрязнения (бытовые и промышленные сточные воды), в целях создания комфортной городской среды, защиты от загрязнения Волгоградского водохранилища и инфраструктурных объектов на его берегу, помимо рекультивации русел и ликвидации исторически сложившихся зон загрязнения необходима реконструкция и введение новых мощностей очистных сооружений. При этом природоохранные мероприятия должны предварять активное освоение территории, а не наоборот, что нередко встречается в Поволжье.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Винокурова Н.В., Калинина Е.А., Столь Э.Э., Куркина М.В., Ващейкин А.С., Садовников П.В.* Тяжёлые металлы в донных отложениях некоторых водоёмов Калининградской области // Вода: химия и экология. 2016. № 12. С. 87–93.

2. *Гудошникова Г.П., Зайонц В.Н.* Распределение микроэлементов в различных генетических типах современных отложений центральной части Саратовского Поволжья // Вопросы геологии и современной геодинамики Нижнего Поволжья. Саратов. 1988. С. 34–47. Деп. в ВИНИТИ 06.07.1988, № 5444-В88.

3. *Ефремова С.В., Стафеев К.Г.* Петрохимические методы исследования горных пород. М.: Недра, 1985. 511 с.

4. *Кудин М.В., Скрипкин А.В., Федоров Ю.Н.* Показатели здоровья детей, проживающих в регионе с развитой цементной индустрией // Вопросы современной педиатрии. 2010. Т. 9, № 5. С. 42–47.

5. *Кудин М.В.* Экогеохимическая характеристика региона с развитой цементной промышленностью // Саратовский научно-медицинский журнал. 2011. Т. 7, № 1. С. 26–30.

6. *Макаров В.З., Волков Ю.В., Архипова Е.А., Неврюев А.М., Мельникова Е.С.* Фациальная структура меловых урочищ памятника природы «Меловые склоны с растениями-кальцефилами у г. Вольска» // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 1. С. 12–21. DOI: 10.18500/1819-7663-2021-21-1-12-21.

7. *Олферьев А.Г., Сельцер В.Б., Алексеев А.С., Амон Э.О., Беньямовский В.Н., Иванов А.В., Овечкина М.Н., Харитонов В.М.* Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 3. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Красный Октябрь» на южной окраине г. Вольска // Бюлл. МОИП. Отдел геологический. 2014. Т. 89, № 6. С. 45–76.

8. *Ревич Б.А., Сает Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.

9. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

10. *Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Миронов А.Г., Бараш И.Г., Буланов В.А., Сизых А.И.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

11. *Чеснокова С.М., Савельев О.В.* Оценка загрязнения донных отложений малых рек Владимирской области // Геоэкология. 2023. № 2. С. 82–89. DOI: 10.31857/S0869780923020030.

12. *Шешнёв А.С.* Качество поверхностного стока с территории города Вольска // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия: Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 51–55. DOI: 10.18500/1819-7663-2020-20-1-51-55.

13. *Янин Е.П.* Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.

14. *Hakanson L.* An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water research. 1980. V. 14 (8). P. 975–1001. DOI: 10.1016/0043-1354(80)90143-8.

REFERENCES

1. Vinokurova, N.V., Kalinina, E.A., Stol', E.E., Kurkina, M.V., Vashcheikin, A.S., Sadovnikov, P.V., “Heavy metals in bottom sediments of some water bodies of the Kaliningrad region”, *Water: chemistry and ecology* **12**, 87–93 (2016) (in Russian).

2. Gudoshnikova, G.P., Zayonts, V.N., “Distribution of microelements in various genetic types of modern sediments of the central part of the Saratov Volga region”, *Issues of geology and modern geodynamics of the Lower Volga region*, 34–47 (1988). Deposited in VINITI RAS, No. 5444-B88, 06.07.1988 (in Russian).

3. Yefremova, S.V., Stafeyev K.G., *Petrochemical methods of rock research* (Moscow: Nedra Publ., 1985) (in Russian).

4. Kudin, M.V., Skripkin, A.V., Fedorov, Yu.N., “Evaluation of the health of children living in a region with a developed cement industry”, *Current Pediatrics* **9** (5), 42–47 (2010) (in Russian).

5. Kudin, M.V., “Ecogeochemical characteristics of a region with an advanced cement industry”, *Saratov J. of medical scientific research* **7** (1), 26–30 (2011) (in Russian).

6. Makarov, V.Z., Volkov, Yu.V., Arkhipova, E.A., Nevryuev, A.M., Mel'nikova E.S., "Facies structure of the chalk natural landmark of the nature monument "Chalk slopes with calcephil plants near town Volsk", *Izvestiya of Saratov University. New Series: Earth Sciences* **21** (1), 12–21 (2021) (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2021-21-1-12-21.

7. Olferiev, A.G., Seltser, V.B., Alexeyev, A.S., Amon, E.O., Beniamovsky, V.N., Ivanov, A.V., Ovechkina, M.N., Kharitonov, V.M., "Upper cretaceous of north Saratov region. Biostratigraphic subdivision of "Krasny Oktyabr" quarry section on southern outskirts of Volsk town", Bull. of MOIP, *Geological series* **89** (6), 45–76 (2014) (in Russian).

8. Revich, B.A., Sayet, Yu.E., Smirnova, R.S., Sorokina, E.P., *Methodological recommendations on the geochemical assessment of urban pollution with chemical elements* (Moscow: IMGRE Publ., 1982) (in Russian).

9. Sayet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P., Smirnova, R.S., Basharkevich, I.L., Onishchenko, T.L., Pavlova, L.N., Trefilova, N.Ya., Achkasov, A.I., Sargsyan, S.Sh., *Environmental geochemistry* (Moscow: Nedra Publ., 1990) (in Russian).

10. Sklyarov, E.V., Gladkochub, D.P., Donskaya, T.V., Ivanov, A.V., Letnikova, E.F., Mironov, A.G., Barash, I.G., Bulanov, V.A., Sizykh, A.I., *Interpretation of geochemical data* (Moscow: Intermet Engineering Publ., 2001) (in Russian).

11. Chesnokova, S.M., Savel'ev, O.V., "Assessment of bottom sediment pollution in small rivers, Vladimir region", *Geoekologiya* **2**, 82–89 (2023) (in Russian). DOI: 10.31857/S0869780923020030.

12. Sheshnev, A.S., "Quality of the surface flow from the territory of the town of Volsk", *Izvestiya of Saratov university. New Series: Earth sciences* **20** (1), 51–55 (2020) (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2020-20-1-51-5.

13. Yanin, E.P., *Anthropogenic geochemical associations in bottom sediments of small rivers (composition, features, methods of assessment)* (Moscow: IMGRE Publ., 2002) (in Russian).

14. Hakanson L., "An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach", *Water research* **14** (8), 975–1001 (1980). DOI: 10.1016/0043-1354(80)90143-8.