9. Trenchless installation, rehabilitation and replacement technologies for natural gas pipelines abroad / H. Lu [et al.] // Natural Gas Industry. 2018. N. 38 (3). P. 110-120.
10. Van Rooyen N., Bolton T. No dig! // Water Sewage and Effluent. 2018. N. 38 (6). P. 18-22.
11. Zanelidin E., Al Khatib O., Ahmed W. Investigating the use of no-dig technologies for underground utilities in developing countries // Innovative Infrastructure Solutions. 2020. № 1. P. 17.

Authors Information

Grin' Valentin Grigor'evich Kandidat sel'skhozyaistvennykh nauk, professor – Federal'noe gosudarstvennoe byudjetnoe obrazovatel'noe uchrejenie vysshego obrazovaniya «Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni I. T. Trubilina» (350044, Krasnodar, Kalinina St., 13), Telefon 8 905 401 69 15; ORCID 0000-0002-0735-7585 **E-mail:** grin_v_g@inbox.ru

Pakhomov Aleksandr Alekseyevich, Professor of the Department «Applied geodesy, environmental management and water management» of the Volgograd State Agrarian University, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, (Russian Federation, 400002, Southern Federal District, Volgograd Region, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), Doctor of technical science, associate Professor. tel. +7(906)-175-08-37, **E-mail:** pahomoff.1954@yandex.ru.

Kolobanova Nina Alexandrovna, Associate Professor of the Department «Fire and technosphere safety» of the Volgograd State Agrarian University, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, (Russian Federation, 400002, Southern Federal District, Volgograd Region, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), Candidate of technical science, associate Professor. tel. +7(917)-831-64-21, **E-mail:** kolobanova.nina@yandex.ru.

Shishkin Aleksandr Sergeevich Starshii prepodavatel' kafedry kompleksnykh sistem vodosnabzheniya – Federal'noe gosudarstvennoe byudjetnoe obrazovatel'noe uchrejenie vysshego obrazovaniya «Kubanskii gosudarstvennyi ag-rarnyi universitet imeni I. T. Trubilina» (350044, Krasnodar, Kalinina St., 13) Telefon 8 962 878 37 49; ORCID 0000-0003-4258-0106 **E-mail:** schischa@inbox.ru

Сведения об авторах

Гринь Валентин Григорьевич, профессор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, г Краснодар, ул. Калинина, 13), кандидат сельскохозяйственных наук; Телефон 8 905 401 69 15; ORCID 0000-0002-0735-7585 **E-mail:** grin_v_g@inbox.ru

Пахомов Александр Алексеевич, профессор кафедры « Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), доктор технических наук, доцент, тел. +7(906)-175-08-37, **E-mail:** pahomoff.1954@yandex.ru.

Колобанова Нина Александровна, доцент кафедры « Пожарная и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ, 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), кандидат технических наук, доцент, тел. +7(917)-831-64-21, **E-mail:** kolobanova.nina@yandex.ru.

Шишкин Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры комплексных систем водоснабжения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; (350044, г Краснодар, ул. Калинина, 13); Телефон 8 962 878 37 49; ORCID 0000-0003-4258-0106 **E-mail:** schischa@inbox.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-43

FEATURES OF POLLUTION OF SEDIMENTS OF SMALL RIVERS WITH HEAVY METALS AS A RESULT OF VARIOUS ECONOMIC ACTIVITIES

B. I. Korzhenevskiy, G. Yu. Tolkachev, N. V. Kolomiitsev, T. A. Ilina

Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakova», Moscow, Russia

Received 16.03.2021

Submitted 22.06.2021

Summary

The results of studies of small rivers in the Central Region are presented. The influence of pollution of the bottom sediments of these rivers by heavy metals entering the watercourses from enterprises, motor transport flows and other sources is estimated.

Abstract

Introduction. Small rivers are receivers of runoff from floodplain areas and industrial sites, they significantly determine the quality of water bodies-water receivers, so the study of the level of their pollution is one of the most important tasks of environmental monitoring. **Object.** As indicators of pollution and an indicator of technogenic load on the territory, the indices of contamination with trace elements: Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn of bottom sediments of small rivers, including tributaries of the Klyazma River: Ucha, Vorya, Sherna, Kirzhach, Lipnya, Koloksha, Peksha, Nerl. **Materials and Methods.** A fraction of less than 0.020 mm was used to determine the degree of contamination. At the same time, the content of these heavy metals was determined, and the obtained values were ranked according to the classification of igeo-classes and technogenic pressure. For monitoring, the system of zoning the territory of river basins into four categories developed by the authors was used.

Results and conclusions. The studied rivers are relatively clean with the recommended frequency of observations once every 5-10 years in the already tested places. The composition of the sediments of most small rivers of the Klyazma basin indicates the absence of active sources of heavy metal pollution in their catchment areas. In small rivers polluted by traffic flows, the concentrations of most heavy metals in their sediments do not directly depend on the road class. Near motorways and expressways, there is a slight increase in the concentration of Pb and Cr in the sediments of water bodies.

Key words: *technogenic pressure, sediments, pollution level, heavy metals, sorbing faction, ecological monitoring.*

Citation. Korzhenevskiy B. I., Tolkachev G. Yu., Kolomiitsev N. V., Ilina T. A. Features of pollution of sediments of small rivers with heavy metals as a result of various economic activities. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 3(63). 415-426 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-43.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, and analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 627.157:002.637(282.247.41)

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗЛИЧНОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Б. И. Корженевский, кандидат геолого-минералогических наук

Г. Ю. Толкачев, кандидат географических наук

Н. В. Коломийцев, кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Т. А. Ильина, кандидат биологических наук

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации имени А. Н. Костякова, г. Москва*

Аннотация. Представлены результаты исследований малых рек Центрального региона. Оценено влияние загрязнения донных отложений этих рек тяжелыми металлами, поступающими в водотоки от предприятий, автотранспортных потоков и других источников.

Актуальность. Малые реки являются приёмниками стока с пойменных территорий и промышленных площадок, они значимо определяют качество водных объектов-водоприемников, поэтому исследование уровня их загрязнения представляется одной из важнейших задач экологического мониторинга. **Объект.** В качестве показателей загрязнения и индикатора техногенной нагрузки на территории рассматриваются индексы загрязнённости микроэлементами: Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn донных отложений малых рек, в том числе притоков реки Клязьмы: Уча, Воря, Шерна, Киржач, Липня, Колокша, Пекша, Нерль. **Материалы и методы.** Для определения степени загрязнения использовалась фракция менее 0,020 мм. При этом определялось содержание указанных тяжелых металлов, а полученные значения ранжировались по классификации игео-классов и техногенной нагрузки. Для мониторинга использована разработанная авторами система

районирования территории бассейнов рек на участки четырёх категорий. **Результаты и выводы.** Исследованные реки относятся к условно чистым с рекомендуемой периодичностью наблюдений единожды в 5–10 лет в уже опробованных местах. Состав донных отложений большинства малых рек бассейна Клязьмы свидетельствует об отсутствии на их водосборных территориях активных источников загрязнения тяжёлыми металлами. В малых реках, загрязняемых автотранспортными потоками, концентрации большинства тяжёлых металлов в их донных отложениях напрямую не зависят от класса дорог. Вблизи автомагистралей и скоростных дорог наблюдается незначительное увеличение концентрации Pb и Cr в донных отложениях водных объектов.

Ключевые слова: загрязнения малых рек, донные отложения, тяжёлые металлы, сорбирующая фракция, экологический мониторинг.

Цитирование. Корженевский Б. И., Толкачев Г. Ю., Коломийцев Н. В., Ильина Т. А. Особенности загрязнения донных отложений малых рек тяжёлыми металлами в результате различной хозяйственной деятельности. *Известия НВ АУК*. 2021. 3(63). 415-426. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-43.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Комплексное использование водных объектов требует изучения их экологического состояния и оценки техногенной нагрузки. Практически для всех техногенно развитых территорий в аквальных ландшафтах наблюдается формирование литогеохимических аномалий в донных отложениях (ДО) со следующими характеристиками: тонкодисперсный состав осадков, их повышенная пластичность, наличие частиц техногенного происхождения, маслянистость. ДО вследствие своих высоких сорбционных свойств накапливают весь комплекс загрязняющих веществ (ЗВ) и служат индикатором техногенной нагрузки на водный объект [6]. Вредными для биоты водных объектов являются тяжёлые металлы (ТМ) различных классов опасности: Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn и мышьяк. Вещественный состав ДО позволяет определять наименее благополучные в экологическом отношении участки и корректировать объём гидрохимических и гидробиологических исследований водного объекта. Для изучения процессов загрязнения ДО рассматриваются участки 3-х категорий по природно-техногенным признакам и участки для специальных наблюдений – IV категории [6].

Малые реки являются наиболее многочисленными приёмниками стока городов и сельскохозяйственных территорий, при этом они в значительной степени определяют гидрологический режим и качество вод рек, в которые впадают, поэтому исследование уровня их загрязнения представляется одной из важнейших задач экологического мониторинга. Также, в силу своих малых объёмов и, как следствие, чувствительности к антропогенной нагрузке, малые реки служат хорошим индикатором экологического состояния своих водосборных территорий. Условно чистые малые реки отнесены к участкам III категории, а их роль в загрязнении водных объектов-водоприемников мало значима. Реки с промзонами и городскими агломерациями необходимо относить к участкам II категории, где отмечается масштабная техногенная нагрузка, или к IV категории для проведения специальных исследований. На участках IV категории могут решаться как специальные научно-практические цели, так и более глубокие вопросы изучения отдельных видов загрязнения [5, 7, 9].

Объекты исследования. Рассмотрены малые реки – притоки реки Клязьмы, испытывающие различную техногенную нагрузку: Уча, Воря, Шерна, Киржач, Липня, Колокша, Пекша, Нерль. Также дана оценка влияния автодорог на реки Пахра, Северка

и Нерская – притоки реки Москвы. Определён уровень загрязнения ДО перечисленных рек ТМ: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Fe, Mn, а также мышьяком. Экологическое состояние оценивалось вне прямой зависимости от роли предприятий-загрязнителей. Образцы для лабораторных исследований отбирались из 5-10 см ДО, которые характеризуют состояние объекта в послепагодковый период. Из них на нейлоновых ситах выделялась фракция размером менее 0,020 мм, которая, как показали специальные исследования, состояла из гидрослюды, вермикулита, оксидов Fe и Mn, органического вещества и других минералов, которые обладают высокими сорбционными свойствами. Определение концентраций ТМ в исследуемых образцах проводилось методами атомной адсорбции (Cd) и ICP после их разложения в «царской водке» [7].

Для оценки степени загрязнения ДО ТМ использовалась классификация по «индексу геоаккумуляции» [11], показывающему уровень загрязнённости ДО относительно природного фона во фракциях менее 0,020 мм. Эта классификация нашла широкое применение в мире [5, 10]. На её основе была предложена методика оценки техногенной нагрузки на водные экосистемы [7], которая позволяет оценивать уровень экологического статуса водных объектов.

Результаты и обсуждение. Содержание ТМ в ДО притоков Клязьмы и оценка техногенной нагрузки в игео-классах приведены в таблице 1.

Река Уча практически целиком протекает по городской и пригородной территории, в том числе по соседству и под автотрассами – однако в её ДО только содержание Zn и Mn соответствует умеренно загрязнённому классу, As и Pb – 1-2. Концентрация Cu соответствует 1 классу (незагрязнённый до умеренно загрязнённого), концентрации остальных элементов не превышает 0-го (незагрязнённого) либо фоновую концентрацию. Р. Воря, как и большинство нижележащих притоков Клязьмы, протекает по гораздо менее населённой местности, в её ДО концентрации искомых элементов не превышают 1 класса. ДО р. Шерны в нижнем течении – в районе г. Ногинска – загрязнены на уровне 2 класса Fe, Mn и As, а также характеризуются фоновыми значениями для Cr и Cu. В ДО р. Киржач на выходе из одноимённого города только содержание Fe и Mn соответствует 1 классу. В притоках Клязьмы – Липне и Колокше – содержание ТМ в ДО близко к геохимическому фону, только Mn и As в ДО низовьях Колокши, и As в устье Липни достигают 1 класса. Подобная картина наблюдается в устье Нерли, где содержание Mn соответствует 2 игео-классу (умеренной нагрузке), а Fe и Zn – 1, остальные элементы не превышают фоновых значений, несмотря на соседство посёлка Боголюбово, а также авто- и ж/д моста. Из полученных результатов следует, что вышеперечисленные малые реки в слабой степени подвержены техногенной нагрузке и не оказывают негативного влияния на р. Клязьму, также в качестве индикатора загрязнения тяжёлыми металлами свидетельствуют об удовлетворительном состоянии их водосборной территории. С точки зрения организации мониторинга данные объекты соответствуют III категории с периодическими наблюдениями в уже опробованных точках.

Отдельного рассмотрения заслуживает река Пекша, в верховьях которой расположен город Кольчугино с населением более 40 тыс. чел. и с достаточно развитой промышленностью. Общая площадь водосборного бассейна Пекши – около 1000 км². В 1977 году на реке была построена плотина и создано Кольчугинское водохранилище. Промышленность Кольчугино представлена заводами: по обработке цветных металлов, по выпуску кабельно-проводниковой продукции, по выпуску электротехнического оборудования, по выпуску железобетонных изделий. Также через г. Кольчугино проходит железнодорожная ветка от г. Александров до г. Кинешма, интенсивное автомобильное движение. Таким образом, Кольчугино является основным и весьма серьёзным источником техногенной нагрузки на р. Пекша. Русло Пекши весьма извилисто и

протекает преимущественно по малонаселённой местности и в удалении от промышленных предприятий, что предполагает снижение загрязнения ДО по мере удаления от города Кольчугино. Результаты исследований – значения концентраций микроэлементов с показателями уровня загрязнения – приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Содержание ТМ в ДО притоков р. Клязьмы
(числитель – значения в мкг/кг, знаменатель – игео-классы)

Table 1 – Heavy metal content in the sediments of the Klyazma River tributaries
(numerator – values in mcg / kg, denominator – igeo-classes)

Объект / Object	Место отбора проб / Sample point	Fe, %	Mn, %	As, мг/кг / mg/kg	Cd, мг/кг / mg/kg	Pb, мг/кг / mg/kg	Zn, мг/кг / mg/kg	Cr, мг/кг / mg/kg	Cu, мг/кг / mg/kg	Ni, мг/кг / mg/kg
р. Уча / River Ucha	T21, Староярославское шоссе д.43, левый берег, пешеходный мост / Staroyaroslavskoe highway, 43, left bank, pedestrian bridge	6,5/0	0,473/2	24/1	0,87/1	65/2	513/2	92/0	112/1	54/0
р. Уча / River Ucha	T22, выше г. Щелково, левый берег, СНТ «Уча» / above Shchelkovo town, left bank, SNT "Ucha»	9,7/1	0,5/2	40/2	1,26/2	48/1	396/2	118/0	95/1	71/0
р. Воря / River Vorya	T03, северо-восток от г. Щелково, р-н пос. Юность, левый берег / north-east of Shchelkovo, village district. "Youth", left bank	11,3/1	0,226/1	33/1	0,78/1	30/1	180/1	65/0	69/1	44/0
р.Шерна / River Sher- na	T12, трасса на г. Владимир, устье, левый берег / highway to Vladimir, highway to Vladimir, mouth, left bank, left bank	16,8/2	0,355/2	52/2	<0,4/0	24/0	60/0	44/0	29/0	74/0
р. Киржач / River Kir- zhach	T26, левый берег, г. Киржач (п.Красный Октябрь) / left bank, Kirzhach (Krasny Oktyabr settlement)	7,7/1	0,137/1	16/0	-	17/0	118/0	103/0	49/0	<20/0
р. Колокша / River Ko- loksha	T41, левый берег под мостом Горьковского шоссе / left bank under the Gorky highway bridge	6,5/0	0,188/1	22/1	-	13/0	108/0	101/0	38/0	25/0
р. Нерль / River Nerl	T37, правый берег, мост Горьков- ской трассы, ниже по течению п. Боголюбово / right bank, Gor- kovskaya highway bridge, down- stream of Bogolyubovo settlement	9,3/1	0,392/2	33/1	-	9/0	66/0	69/0	33/0	34/0

Наименьший уровень загрязнения ДО закономерно отмечен на выходе р. Пекша из Кольчугинского водохранилища, поскольку источники загрязнения и промышленные площадки находятся ниже по течению, а ДО самого водохранилища представлены песчаными фракциями. Большинство элементов находится в пределах фонового уровня, либо от незагрязнённого до умеренно загрязнённого класса со слабой техногенной нагрузкой. Исключение составляет Zn, соответствующий умеренно загрязнённому уровню и умеренно опасной нагрузке – предположительно в связи с достаточно интенсивным автомобильным движением и близрасположенными неконтролируемыми источниками загрязнения. Ниже

города уровни загрязнения практически всех элементов и, следовательно, техногенная нагрузка, существенно повышаются. Содержание Zn доходит до сильно загрязнённого и соответствует опасной техногенной нагрузке, Cd и Cu соответствуют среднезагрязнённому уровню и умеренной нагрузке, Pb – умеренно загрязнённому уровню. Концентрации остальных элементов в ДО варьируются от фонового до умеренно загрязнённого уровня и не представляют опасности. Ниже по течению в 10 км у д. Лаврениха, в районе областной автотрассы, уровни Zn, Cd, Cu, Pb снижаются каждый на один класс, при этом содержание Fe и Mn незначительно повышается и соответствует от незагрязнённого до умеренно загрязнённого уровня до самого устья.

Таблица 2 – Концентрации микроэлементов в ДО р. Пекша в 2019 г.
(числитель – значения в мкг/кг, знаменатель – значения и гео-классов)

Table 2 – Concentrations of trace elements in the sediments of the River Peksha in 2019.
Numerator – values in mg/kg, denominator – values of igeo-classes

№ обр / No	Место отбора проб / Sample point	Fe, %	Mn, %	As, мг/кг / mg/kg	Cd, мг/кг, mg/kg	Pb, мг/кг, mg/kg	Zn, мг/кг, mg/kg	Cr, мг/кг, mg/kg	Cu, мг/кг, mg/kg	Ni, мг/кг, mg/kg
T46	Правый берег, выше 3-да Кольчугино» у бывшего водозабора / Right Bank, above factory Kolchugino " at the former water intake	5,79/0	0,07/ 0	12,6/ 0	0,89/1	41,75/1	393,4/2	101,9/0	54,39/0	65,74/ 0
T48	Правый берег, ниже моста у дер. Лаврениха / Right Bank, below the bridge at the settlement of Lavrenikha	8,96/1	0,13/1	13,71/0	1,24/2	46,38/1	1160/3	62,45/1	102/1	97,4/0
T60	Правый берег у моста автодороги на п. Караваево / The right bank at the bridge of the highway on the village of Karavaevo	7,26/1	0,1/0	11,84/0	0,88/1	34,57/1	421,1/2	86,5/0	58,7/0	69,45/0
T61	Левый берег выше моста автодороги на п. Анкудиново / Left bank above the road bridge on the village of Ankudinovo	10,3/1	0,15/1	11,35/0	0,93/1-2	31,09/0-1	485/2	48,57/0	61,05/0	73,89/0
T59	Левый берег, мост на Черкасово (примерно 4 км от трассы Владимир-Москва), 30 м ниже местного моста / Left Bank, bridge on Cherkasovo (about 4 km from the Vladimir-Moscow highway), 30 m below the local bridge	10,7/1	0,14/1	10,98/0	0,81/1	26,32/0	285,6/ 1-2	70,75/0	46,55/0	64,84/0
T32	Правый берег, 40 м выше моста на Горьковском шоссе / Right Bank, 40 m above the bridge on the Gorky highway	8,5/1	0,16/1	16/0	-	14/0	282/1	78/0	180/2	24/0

Вниз по течению от д. Лаврениха до впадения в р. Клязьма русло Пекши отличается извилистостью и пролегает по малозаселённым местам, увеличивается площадь отложений, благодаря чему уровни загрязнения ДО всех остальных элементов постепенно снижаются, в устье можно говорить об отсутствии техногенной нагрузки – за исключением Cu. Уровень загрязнения медью соответствует умеренно загрязненному и умеренно опасной техногенной нагрузке, что может быть объяснено, помимо внешнего

поступления, поступлением органического вещества в ДО в сочетании с близостью посёлка Пекша и автотрассы [4], что не отменяет целесообразности снижения антропогенной нагрузки в районе г. Кольчугино и более тщательного контроля за сбросом с контролируемых и особенно неконтролируемых источников загрязнения.

Таким образом, отмечена средняя техногенная нагрузка, и как следствие отрицательное влияние со стороны г. Кольчугино на реку Пекшу, при этом сама Пекша не привносит загрязнения тяжёлыми металлами в реку Клязьму. В ДО самой Клязьмы ниже впадения Пекши отмечен средний уровень загрязнения [4], что подтверждает вышеизложенный вывод. Иными словами, Пекша является приёмником ЗВ г. Кольчугино с «хвостом» загрязнений порядка 10 км и самоочищается в районе нижележащих деревень. С точки зрения мониторинга Пекшу целесообразно отнести к III категории, с участком IV категории на выходе из г. Кольчугино.

Наряду с техногенной нагрузкой от городов и промышленных площадок, общепризнанным источником загрязнения окружающей среды являются автотранспортные средства. Основными загрязнителями в сточных водах с автомобильной дороги являются взвешенные вещества, нефтепродукты и тяжелые металлы (Zn, Cd, Pb, Mo, Ni, Cu, Cr и V) [9]. Для малых рек автотранспортные потоки могут оказывать значительное влияние как источник ТМ. Вне крупных промышленных предприятий и густонаселённых городов автотранспорт является одним из основных источников диффузного загрязнения ДО водотоков и водоёмов [1]. Качество воды в таких объектах немаловажно, т.к. на их берегах часто располагаются различные зоны отдыха. Количество автомобильного транспорта в России на начало 2019 года, по данным ООО «Автостат Инфо», выросло на 60 %, а дорожная сеть практически не расширялась; увеличилась транспортная нагрузка на ландшафты более чем в 2 раза за 20 лет [2].

Современные исследования влияния автотранспортных потоков посвящены определению зависимостей загрязнения придорожных почв и растительности [8], способам более эффективной очистки стоков с дорог, но исследования по определению связи загрязнения малых рек с параметрами автотранспортных потоков практически не проводятся. Для оценки загрязнения рек используется методика, изложенная в «Рекомендациях по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов» [5]. Она учитывает только поверхностный сток с автостовов в зависимости от категории дороги, а другие факторы не учитываются. Источники загрязнения водных объектов автотранспортом следующие: денудационные продукты автомобильной дороги, продукты износа шин, продукты износа фрикционных накладок тормозных колодок и сцепления, продукты коррозии, отработанные масла, капли топлива, щелочи, антифриза, твердые частицы отработавших газов двигателя автомобиля, антигололёдные реагенты, потери грузов, перевозимых транспортом, разлив нефтепродуктов в результате ДТП [12]. Количество и концентрации вредных веществ [12], поступающих от этих источников в реки, зависят от интенсивности движения автотранспорта, скоростей движения транспортных средств, их массы, габаритов и типов, класса дороги (ее конструктивных параметров) [3], покрытия, погоднo-климатических условий.

При высокой интенсивности движения автомобильного транспорта концентрации загрязнителей на придорожных территориях часто превышают допустимые санитарно-гигиенические нормы: химический анализ снежной массы, взятой с обочин дорог в Москве, показал, что концентрации превышают допустимые по нефтепродуктам – в 486-125 раз, по железу – в 88 раз, по меди – в 260-290 раз, по цинку – в 180-265 раз, по кадмию – в 6-10 раз, никелю и свинцу – в 2-5 раз [12].

При активном вождении, при постоянных торможениях и разгонах происходит повышение загрязнения придорожного воздуха газами и твердыми частицами минимум на треть. Из-за истирания шин загрязнение придорожной территории резиновой пылью

в России достигает 50 тыс. т/год [2]. Также существенными факторами загрязнения ДО водных объектов вблизи мостов являются природно-климатические условия территории. Атмосферные осадки определяют смыв загрязнителей на придорожные территории, в то же время выпадение осадков снижает концентрацию вредных веществ в воздухе, осаждавая вредные примеси на поверхность.

По результатам обследований в 2018-2019 гг. отмечены основные изменения загрязнения ДО малых рек в Московской области. Они проводились на участках автомобильных дорог, пересекающих малые водные объекты, где прочие воздействия не фиксируются [7]. Примеры загрязнения ДО водных объектов в Московской области приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Концентрация ТМ (мг/кг) во фракции <0,020 мм ДО р. Северки при пересечении с Каширским шоссе [5]

Table 3 – Concentration of heavy metals (mg/kg) in the fraction <0.020 mm in sediment of the River Severka at the intersection with the Kashirsk highway [5]

№ пп / No	Место отбора проб / Sample points	Cd	Pb	Zn	Cu
1с	30 м выше моста / 30 m above the bridge	0,450	29,10	172,55	35,25
2с	5 м выше моста / 5 m above the bridge	0,425	16,45	126,05	34,75
3с	10 м ниже моста / 10 m below the bridge	0,599	27,92	179,60	41,06
4с	50 м ниже моста / 50 m below the bridge	0,550	20,67	182,95	70,23
5с	150 м ниже моста / 150 m below the bridge	0,499	19,27	170,25	48,21
6с	300 м ниже моста / 300 m below the bridge	0,450	17,61	140,40	45,35
Фоновые значения / Background values [13]		0,300	20,00	95,00	45,00

Приведенные в таблице 3 данные показывают, что вблизи автомагистрали формируется зона с повышенным содержанием ТМ в ДО малой реки. Её ДО умеренно загрязнены кадмием и цинком. Пункты для дополнительных исследований выбирались на участках пересечения с автомагистралями малых рек, вблизи которых отсутствовали значимые источники поступления ТМ в ДО. Это позволяет корректно оценивать роль автотранспортной нагрузки и её участие в загрязнении водных объектов. Пробы ДО отбирались на реках Нерской, Пахре и Северке в местах их пересечения с различными дорогами: Егорьевское шоссе, Симферопольское шоссе, Каширское шоссе, Домодедовское шоссе, А108, Рязанское шоссе и дорогами обычного типа. Был произведен их анализ на содержание ТМ, изменение концентрации ТМ в ДО этих рек представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Изменение концентрации ТМ в ДО притоков реки Москвы

Table 4 – Changes in the concentration of the heavy metals in the tributaries of the Moscow River

Река / River	Класс автомобильной дороги / Road class [5]	Категория автомобильной дороги / Road category [5]	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu	Ni
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пахра / Pakhra	Автомагистраль / Highway	IA (IA)	+	+	+	-	+	+
Пахра / Pakhra	Дорога обычного типа / local road	III	-	-	+	-	-	-
Пахра/ Pakhra	Автомагистраль / Highway	IA (IA)	+	-	+	-	-	-
Пахра/ Pakhra	Автомагистраль / Highway	IA (IA)	+	+	+	-	+	+
Пахра / Pakhra	Дорога обычного типа / local road	III	-	-	+	-	+	-

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Северка / Severka	Автомостраль / Highway	IA (IA)	+	+	-	-	-	-
Северка / Severka	Скоростная дорога Expressway	IB (IB)	+	+	+	+	+	+
Северка / Severka	Скоростная дорога / Expressway	IB (IB)	-	+	+	-	-	-
Северка / Severka	Дорога обычного типа / local road	III	-	+	+	-	+	-
Нерская / Nerskaya	Скоростная дорога / Expressway	IB (IB)	-	+	+	+	+	+
Нерская / Nerskaya	Дорога обычного типа / local road	III	-	+	+	-	+	+
Нерская / Nerskaya	Дорога обычного типа / local road	III	+	-	-	+	-	+
Нерская / Nerskaya	Дорога обычного типа / local road	III	-	+	+	-	-	-

Примечание: «+» - увеличение, «-» - снижение концентрации / Note: "+" - increase, "-" - decrease in concentration

На основании полученных данных можно отметить, что в XXI веке на скоростных дорогах автотранспортное воздействие на малые реки существенно увеличилось. На дорогах обычного типа также отмечено увеличение содержания ТМ в ДО водных объектов, что даёт основание отнести участки вышеперечисленных рек к участкам IV категории мониторинга, т.е. участкам специальных наблюдений.

Выводы:

1. Главным источником загрязнения р. Пекши является г. Кольчугино, техногенная нагрузка ниже города по Zn доходит до опасной, по Cd, Cu по Pb – до умеренной. По мере удаления от города к устью уровни загрязнения снижаются практически до их отсутствия – р. Пекша самоочищается благодаря отсутствию активных источников загрязнения.

2. Малые реки Уча, Воря, Шерна, Киржач, Липня, Колокша, Нерль в слабой степени подвержены техногенной нагрузке и не оказывают негативного влияния на р. Клязьму, их состояние свидетельствует об отсутствии на их водосборных территориях активных источников загрязнения ТМ.

3. Сопоставление с загрязнением ДО р. Клязьма в месте впадения её перечисленных притоков указывает на отсутствие привноса загрязняющих веществ, поскольку уровень загрязнения Клязьмы значительно выше; напротив, впадение незагрязнённой водной массы способствует самоочищению Клязьмы.

4. Вблизи автомагистралей и скоростных дорог наблюдается увеличение концентрации Pb в ДО водных объектов. Концентрации остальных ТМ в ДО не имеют корреляции с классом дороги и интенсивностью её использования. Отмечается для дорог почти всех классов увеличение концентрации хрома в ДО.

5. С точки зрения организации экологического мониторинга реку Пекша и остальные опробованные притоки реки Клязьмы следует относить к условно чистым малым рекам, где достаточен повтор наблюдений не более одного – двух раз за 10 лет в уже опробованных местах. Малые реки, такие как Северка, Пахра, Нерская, следует относить к участкам спецнаблюдений с повтором один раз в два года или по мере решения экологических проблем.

Библиографический список

1. Веницианов Е. В., Кирпичникова Н. В., Тиунов А. А. Расчет распространения загрязнений в Клязьминском водохранилище от береговых источников диффузного характера // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 5. С. 64-79.
2. Динамика основных показателей работы транспорта по данным ООО «АвтостатИнфо». <https://www.autostat.ru/infographics/20172/>.
3. Классификация и категория автомобильных дорог. <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravlenie-zemelno-imushchestvennykh-otnosheniy/edinyy-gosudarstvennyy-reestr-avtomobilnykh-dorog/14694>.
4. Корженевский Б. И., Толкачев Г. Ю., Коломийцев Н. В. Загрязнение донных отложений Клязьмы тяжёлыми металлами // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2019. № 4 (160). С. 79-84.
5. Мониторинг загрязнения автотранспортом малых рек Московской области тяжёлыми металлами / Б. И. Корженевский, Н. В. Коломийцев, Т. А. Ильина, Н. О. Гетьман // Безопасность жизнедеятельности. 2018. № 4 (208). С. 24-29.
6. Основные принципы мониторинга загрязнения большой реки (на примере бассейна реки Волги) / Б. И. Корженевский, Г. Ю. Толкачев, Т. А. Ильина, Н. В. Коломийцев // СтройМного. 2017. № 2 (7). С. 1/7-7/7.
7. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязнённости донных отложений / Н. В. Коломийцев, Б. И. Корженевский, Т. А. Ильина, Е. Н. Гетьман // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 15-19.
8. Подольский В. П., Рябова О. В. Структурно-параметрическое моделирование процессов распространения загрязняющих веществ в пространстве придорожной полосы // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. № 1 (25). С. 125-133.
9. Толкачев Г. Ю. Донные отложения как индикатор загрязнения водохранилища и его бассейна // Уральский научный вестник. 2014. № 4. С. 11-15.
10. Determining soil quality in urban agricultural regions by soil enzyme-based index / A. D. Igalavthana [et al.] // Environmental Geochemistry and Health. V. 39. No 6. 2017. P. 1531-1544.
11. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. P. 778-783.
12. Traffic flows modelling and evaluation of energy-ecological parameters. Part II / V. N. Lukanin [et al.] // International Journal of Vehicle Design. 2003. V. 33. No 4. P. 400-421.
13. Wedepohl H. K. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59. No. 7. P. 1217-1232.

Conclusions:

1. The main source of pollution of the Peksha River is the city of Kolchugino, the technogenic load below the city on Zn reaches dangerous, on Cd, Cu on Pb – to moderate. As we move away from the city to the river mouth, the pollution levels decrease almost to their absence – the Peksha River is self-cleaned due to the absence of active sources of contamination.
2. The small rivers Ucha, Vorya, Sherna, Kirzhach, Lipnya, Koloksha, Nerl are subject to a weak degree of technogenic load and do not have a negative impact on the Klyazma River, their condition indicates the absence of active sources by heavy metal pollution in their catchment areas.
3. A comparison with the pollution of the Klyazma River at the confluence of its listed tributaries indicates the absence of the introduction of pollutants, since the level of pollution of the Klyazma is much higher; on the contrary, the confluence of the uncontaminated water mass contributes to the self-purification of the Klyazma.
4. Near motorways and expressways, there is an increase in the concentration of Pb in the sediments of water bodies. The concentrations of the remaining heavy metals in the sediments have no correlation with the class of the road and the intensity of its use. There are increasing in the concentration of chromium in the sediments for almost all classes of roads.

5. From the point of view of the organization of environmental monitoring, the Peksha River and the rest of the tested tributaries of the Klyazma River should be attributed to conditionally clean small rivers, where it is sufficient to repeat observations no more than once or twice in 10 years in already tested places. Small rivers, such as the Severka, Pakhra, and Nerskaya, should be referred to special observation sites with a repeat once every two years or as environmental problems are resolved.

References

1. Venitsianov E. V., Kirpichnikova N. V., Tiunov A. A. Calculation of the distribution of pollution in the Klyazma reservoir from coastal sources of diffuse nature // *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2019. No. 5. Pp. 64-79.
2. Dynamics of the main transport performance indicators according to the data of "Avto-statinfo Ltd." <https://www.autostat.ru/infographics/20172/>.
3. Classification and category of highways. <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravlenie-zemelno-imushchestvennykh-otnosheniy/edinyy-gosudarstvennyy-reestr-avtomobilnykh-dorog/14694>.
4. Korzhenevskiy B. I., Tolkachev G. Yu., Kolomiitsev N. V. Pollution of the sediments of the Klyazma with heavy metals // *Use and protection of natural resources in Russia*. 2019. No. 4 (160). Pp. 79-84.
5. Monitoring of heavy metals pollution by motor transport of small rivers of the Moscow region / B. I. Korzhenevskiy, N. V. Kolomiitsev, T. A. Ilina, N. O. Getman // *Life safety*. 2018. No. 4 (208). Pp. 24-29.
6. Basic principles of monitoring of pollution of the big river (on the example of the Volga river basin) / B. I. Korzhenevskiy, G. Yu. Tolkachev, T. A. Ilina, N. V. Kolomiitsev // *Story Mnogo*. 2017. No. 2 (7). Pp. 1/7-7/7.
7. Assessment of technogenic load on water objects by pollution of bottom sediments / N. V. Kolomiitsev, B. I. Korzhenevskiy, T. A. Ilina, E. N. Getman // *Melioration and Water Management*. 2015. No. 6. Pp. 15-19.
8. Podolsky V. P., Ryabova O. V. Structural-parametric modeling of the processes of distribution of pollutants in the space of a roadside lane // *Scientific bulletin of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture*. 2012. No. 1 (25). Pp. 125-133.
9. Tolkachev G. Yu. Sediments as an indicator of pollution of the reservoir and its basin // *Ural Scientific Bulletin*. 2014. No. 4. Pp. 11-15.
10. Determining soil quality in urban agricultural regions by soil enzyme-based index / A. D. Igalavthana [et al.] // *Environmental Geochemistry and Health*. V. 39. No 6. 2017. Pp. 1531-1544.
11. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veraenderungen seit 1971 // *Umschau* 79. 1979. H. 24. P. 778-783.
12. Traffic flows modelling and evaluation of energy-ecological parameters. Part II / V. N. Lukanin [et al.] // *International Journal of Vehicle Design*. 2003. V. 33. No 4. P. 400-421.
13. Wedepohl H. K. The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59. No. 7. P. 1217-1232.

Authors Information

Korzhenevskiy Boris Igorevich, DSc, Senior Scientist, All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation; 44/2, Bolshaya Akademicheskaya str., Moscow, 127434, Russia. E-mail: 542609@list.ru. ORCID 0000-0001-7663-9677. ScopusID 57195526993

Tolkachev Gleb Yurievich, DSc, Senior Scientist All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation; 44/2, Bolshaya Akademicheskaya str., Moscow, 127434, Russia. E-mail: k-26@yandex.ru. ORCID 0000-0001-6983-7106

Kolomiitsev Nikolay Vladimirovich, DSc, Scientific secretary, All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation; 44/2, Bolshaya Akademicheskaya str., Moscow, 127434, Russia. E-mail: kolomiitsev@vniigim.ru. ORCID 0000-0001-8169-7644. ScopusID 6505900441

Ilina Tamara Andreevna, DSc, Senior Scientist All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation; 44/2, Bolshaya Akademicheskaya str., Moscow, 127434, Russia. E-mail: ristolanin@mail.ru

Информация об авторах

Корженевский Борис Игоревич, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат геолого-минералогических наук. Тел.: +7(965)302-14-99, E-mail: 542609@list.ru. ORCID 0000-0001-7663-9677. ScopusID 57195526993

Толкачев Глеб Юрьевич, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат географических наук. Тел.: +7(916)972-94-12, E-mail: k-26@yandex.ru. ORCID 0000-0001-6983-7106

Коломийцев Николай Владимирович, ученый секретарь ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат геолого-минералогических наук. Тел.: +7(977)174-97-17, E-mail: kolomiytsev@vniigim.ru. ORCID 0000-0001-8169-7644. ScopusID 6505900441

Ильина Тамара Андреевна, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (127434, Россия, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2), кандидат биологических наук. E-mail: ristolanin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-44

SEASONAL AND LONG-TERM FEATURES OF SURFACE TEMPERATURE IN THE CITIES OF THE DRY ZONE

(on the example of cities in the south-east
of the European part of Russia and Western Kazakhstan)

O.Yu. Kosheleva¹, S.S. Shinkarenko^{1,2}, O.A. Gordienko¹,
R.S. Omarov⁴, A.A. Dubacheva³

¹*Federal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia*

²*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Volgograd State University, Volgograd, Russia*

⁴*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

Received 03.06.2021

Submitted 05.08.2021

The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Volgograd region in the framework of the scientific project No. 19-45-343001 using the infrastructure of the Collective Use Center "ICI-Monitoring" [9] and the capabilities of the Vega information service [2].

Summary

The article presents the results of comparing seasonal and long-term (20-year period) features of the earth's surface temperature in the cities of the arid zone of Russia and Kazakhstan to obtain information about the influence of natural meteorological factors and anthropogenic conditions, such as the degree of sealing and greening on the formation of the "urban heat island" effect on a regional scale.

Abstract

Introduction. The artificial anthropogenic environment of modern cities greatly changes the surface temperature in comparison with natural landscapes. The presence of a large amount of spatial information allows you to compare different cities with each other, to investigate how strongly anthropogenic factors, in particular, the degree of sealing of the surface, affect the long-term course of temperature. **Object.** The research area is a region at the junction of the south-east of the European part of Russia and north-west Kazakhstan, located between 43° and 51° north latitude, 44° and 51° east longitude. In this area, 8 cities are selected – Saratov, Volgograd, Elista, Astrakhan, Makhachkala, Uralsk, Atyrau, Aktau. **Materials and methods.** The study is based on arrays of statistically processed data on the day and night temperatures of the earth's surface, obtained by the MODIS radiometer for the period from 2000 to 2020. Data on the degree of sealing and greening of urban areas were obtained during