ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»
Географический факультет
ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»
НПЦ «Мэп Мейкер»
ФГБУН Институт солнечно-земной физики СО РАН

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ В РОССИИ

Материалы III Всероссийской научно-практической конференции
Иркутск, 25–27 ноября 2020 г.

ISBN 978-5-9624-1874-2

УДК 551.5(470)(063)
ББК 26.23(2Р)л0
С56

Редколлегия:
Е. Н. Сутырина, канд. геогр. наук; И. В. Латышева, канд. геогр. наук;
С. Ж. Вологжина, канд. геогр. наук

Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России : материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 25–27 ноября 2020 г. / ФГБОУ ВО «ИГУ». – Иркутск : Издательство ИГУ, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.
https://doi.org/10.26516/978-5-9624-1874-2.2020.1-465
ISBN 978-5-9624-1874-2

Материалы содержат результаты исследований по направлениям: «Погода и климат. Мониторинг и прогнозирование», «Мониторинг, моделирование и прогнозирование состояния водных объектов суши», «Опасные гидрометеорологические явления и процессы», «Влияние климатических изменений на трансформацию природных и социально-экономических условий», «Современные информационные системы в гидрометеорологии», «Региональные особенности атмосферных процессов», «Современные методы и средства гидрометеорологических наблюдений», «Актуальные проблемы подготовки кадров в сфере гидрометеорологии».
Предназначены для специалистов в области гидрометеорологии, работников научных и образовательных учреждений, аспирантов и студентов.

Статьи публикуются в авторской редакции. Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей, за соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за сам факт их публикации. Мнение и выводы авторов статей могут не совпадать с мнением редакции и членов редколлегии.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Иркутский государственный университет»
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1; тел. (3952) 52-19-00
Издательство ИГУ
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 124; тел. (3952) 52-18-53; e-mail: izdat@lawinstitut.ru
Подписано к использованию 20.11.2020. Тираж 30 экз. Объем 51,3 Мб.

Тип компьютера, процессор, частота:	32-разрядный процессор, 1 ГГц или выше
Оперативная память (RAM):	256 МБ
Необходимо на винчестере:	320 МБ
Операционные системы:	ОС Microsoft® Windows® XP, 7, 8 или 8.1. ОС Mac OS X
Видеосистема:	Разрешение экрана 1024x768
Акустическая система:	Не требуется
Дополнительное оборудование:	Не требуется
Дополнительные программные средства:	Adobe Reader 6 или выше

© ФГБОУ ВО «ИГУ», 2020

УДК 504.453+504.4.054

Закономерности загрязнения Москвы-реки биогенными и потенциально токсичными веществами от истока до устья (по данным 2019 г.)

Г. Л. Шинкарева (galina.shinkareva@gmail.com), О. Н. Ерина (oxana.erina@geogr.msu.ru), М. А. Терешина (martereshina@yandex.ru), Д. И. Соколов (Dmitriy.Sokolov@yandex.ru), А. Ю. Руденко (annaru13@bk.ru), М. Ю. Лычагин (lychagin2008@gmail.com)

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Аннотация. Представлен анализ данных по содержанию органического вещества, биогенных элементов, макрокомпонентов и потенциально токсичных элементов в водах р. Москвы и ее основных притоков по результатам полевых исследований, проведенных в апреле и августе 2019 г.

Ключевые слова: органическое вещество, потенциально токсичные элементы, биогенные элементы, река Москва.

Введение

Московский мегаполис с численностью населения более 12,5 млн человек является одним из самых крупных населенных центров Европы, около 30 % территории которого занимает долина р. Москвы [6]. Антропогенная нагрузка на гидрографическую сеть г. Москвы и прилегающих территорий в последние годы неизбежно растет с ростом численности населения. Несмотря на устойчивое снижение водопотребления в регионе, Московская агломерация продолжает оставаться одним из крупнейших водопользователей в стране, а также лидером по объемам водоотведения в водные объекты.

Целью данной работы являлось выявление пространственных изменений в содержании потенциально токсичных элементов (ПТЭ) и биогенных веществ. В качестве модельных были выбраны периоды весеннего половодья (апрель) и летней межени (август) 2019 г.

Объект и методы исследования

Весенние полевые работы на р. Москве и ее притоках выполнены 4–5 апреля на участке выше г. Москвы, летние – 6–8 августа по всей длине р. Москвы от истока до устья (рис. 1). Исследования включали отбор проб в 29 пунктах весной (19 на р. Москве и 10 на ключевых притоках) и 56 летом (38 и 18 соответственно).

Физико-химические свойства речных вод измерялись на каждой станции опробования с помощью зонда YSI ProSolo (Yellow Springs, Ohio, USA). Пробы речных вод отбирались в пластиковые бутылки объемом 5 л, после чего фильтровались с помощью вакуумного насоса Millipore через предварительно взвешенные мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм для отделения растворенной фракции химических элементов. Далее в гидрохимической лаборатории Красновидовской УНБ МГУ им. М. В. Ломоносова проводились аналитические

работы. В не фильтрованных пробах титриметрическим методом оценивалась перманганатная окисляемость (ПО) и скляночным методом – биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$). В фильтрованных (буква «р» в нижнем индексе) и не фильтрованных (общее или валовое содержание) пробах с использованием фотометрии определялось содержание азота ($N_{общ}$ и $N_р$), минерального ($Р_м$ и $Р_{мр}$) и валового фосфора ($Р_в$ и $Р_{вр}$), а также титриметрически оценивалось химическое потребление кислорода (ХПК и $ХПК_р$). После фильтрования фильтр с взвесью повторно взвешивался для расчета содержания взвешенного вещества в речных водах (мг/л). Макрокомпонентный состав речных вод определялся с помощью ионной хроматографии. Содержание B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, W, Pb, Bi, U анализировалось масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно связанной плазмой на приборах Elan-6100 и Optima-4300 (Perkin Elmer, США) во ВНИИ минерального сырья имени Н. М. Федоровского.

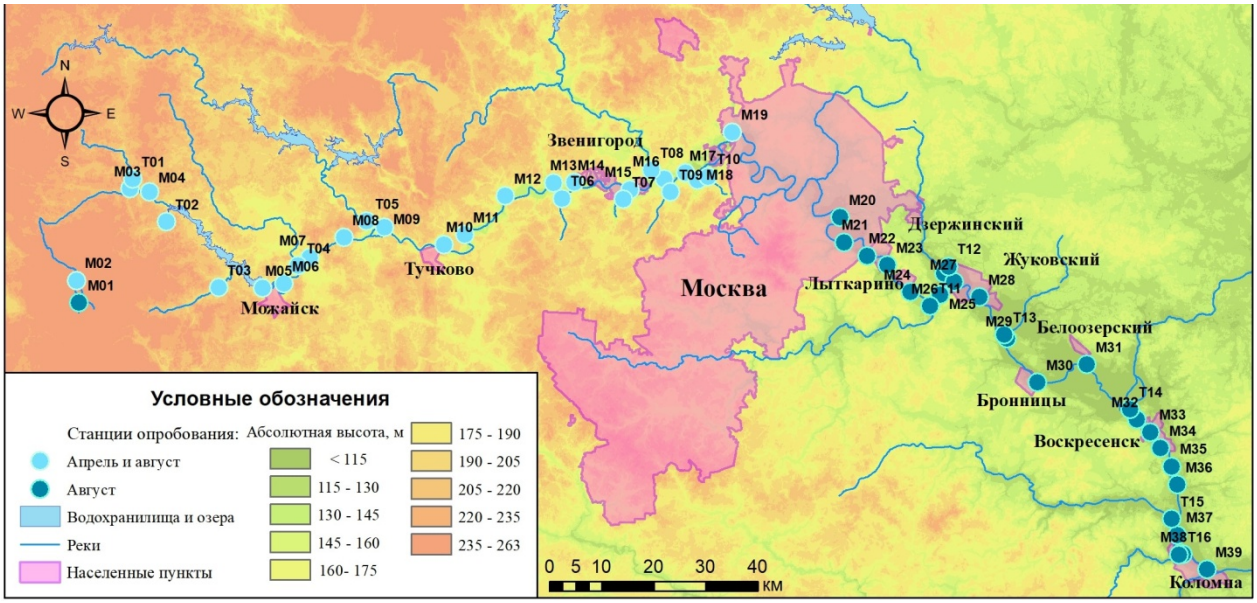

Рис. 1. Станции гидрохимического мониторинга во время весеннего половодья (апрель) и летней межени (август)

Для оценки уровней содержания ПТЭ рассчитывались соотношения концентраций элементов в речных водах Москвы и ее притоков со среднемировыми данными (K_c) [13] и с предельно допустимыми концентрациями химических веществ ($ПДК_{к-б}$) в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (K_o) [5].

Результаты и обсуждение

Полученные данные позволяют оценить пространственную динамику основных физико-химических свойств вод и содержания поллютантов в бассейне р. Москвы. Так, величины pH, удельной электропроводности и мутности изменяются незначительно: средние значения во время весеннего половодья (апрель) и летней межени (август) составили 8,0–8,1; 453–580 мкСм/см и 11,7–

18,9 мг/л соответственно, что совпадает с данными других авторов [12]. При этом значения pH отличаются достаточной стабильностью и слабо изменяются от истока р. Москвы к ее устью. Удельная электропроводность имеет тенденцию к увеличению вниз по течению: от 151 до 710 мкСм/см. Это связано со слиянием достаточно чистых речных вод в верховьях Москвы с более минерализованными водами притоков (реки Вяземка, Медвенка, Чаченка, Пахра, Пехорка, Гжелка), а также влиянием сточных вод городов Можайск, Звенигород, Москва, Дзержинский, Жуковский, Воскресенск, Коломна, и др.

Содержание взвешенного вещества (ВВ) существенно увеличивается вниз по течению, изменяясь от 2,7 до 33,3 мг/л, особенно в период летней межени (рис. 2). Максимальная концентрация ВВ (92 мг/л) была установлена в самой верхней точке у истока р. Москвы, располагающегося в заболоченной местности, которая характеризуется большим количеством органической взвеси и коллоидов, что подтверждается также максимальными значениями ХПК и $ХПК_р$ в этой точке. В условиях весеннего половодья (апрель) содержание ВВ в среднем в 4 раза превышало таковое для летней межени (август), максимальные превышения были установлены для верхнего течения реки и составили 16–18 раз, что объясняется более интенсивными эрозионными процессами на этом участке в период половодья, вызывающими поступление значительного количества органического вещества и коллоидов из заболоченной местности у истока реки. Воды притоков р. Москвы в весенний период отличаются более высоким содержанием ВВ. Набольшие значения выявлены для р. Нахавня (57 мг/л). Во время летней межени максимальные концентрации ВВ, не считая истока р. Москвы, были установлены в р. Москве в черте г. Воскресенска (35 мг/л).

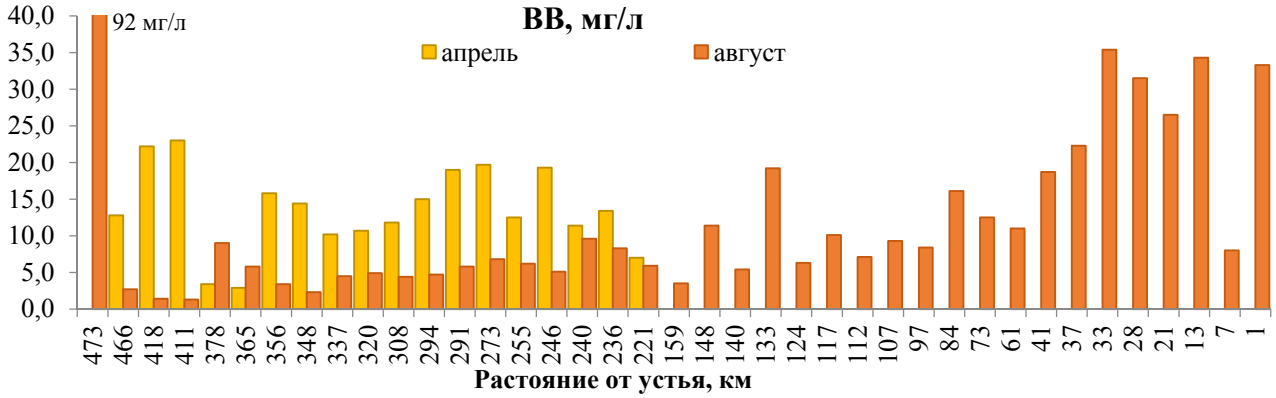

Рис. 2. Изменение содержания взвешенного вещества по течению р. Москвы

Содержание органического вещества и биогенных элементов. Разброс величин $БПК_5$, ХПК и $ХПК_р$ за исследуемый период составил 0,5–11,5; 12,4–145,8 и 11,5–124,4 мгО/л соответственно. Для $БПК_5$ характерен постепенный рост от верхнего течения к нижнему. Максимальные величины ХПК и $ХПК_р$ зафиксированы в истоке р. Москвы и имели природное происхождение; на участке от истока до г. Москвы они были невелики, повышаясь в 1,5 раза в черте города и еще в 1,5 раза (до 46 и 34 мгО/л соответственно) на участке от г. Москвы до устья. Важно отметить, что источником повышения ХПК в черте

г. Москвы были не выпуски Курьяновских очистных сооружений (КОС), а волжские воды, поступающие по каналу Москва-Волга.

Содержание нитритного, нитратного, аммонийного и общего азота, а также общего и минерального фосфора резко увеличивается в 3–7 раз ниже выпусков Курьяновских и Люберецких (ЛОС) очистных сооружений и продолжает сохраняться на повышенном уровне до самого впадения в Оку, что согласуется с данными других авторов [2; 8]. Курьяновские очистные сооружения – самые старые в системе канализации г. Москвы, а также одни из самых мощных [8]. По данным доклада «О состоянии окружающей среды в г. Москве в 2019 году» [6] ниже КОС и до Бесединского моста выявлена устойчивая загрязненность речных вод ионом аммония. По нашим данным, ниже КОС концентрации аммонийного азота возрастают в 5 раз (рис. 3). Таким образом, несмотря на масштабную реконструкцию КОС, проведенную в 2011–2019 гг., очистные сооружения г. Москвы продолжают оставаться одним из ключевых загрязнителей реки.

Второй пик концентраций аммонийного азота в период летней межени 2019 г. был установлен в р. Москве ниже впадения р. Пехорки (рис. 3), для которой характерна очень большая нагрузка сточными водами [1]. Доля биологически очищенных сточных вод в общем стоке реки составляет около 90 % [10].

В целом ниже г. Москвы в речных водах в 2–18 раз возрастают концентрации минерального и валового фосфора, общего, нитритного, нитратного и аммонийного азота.

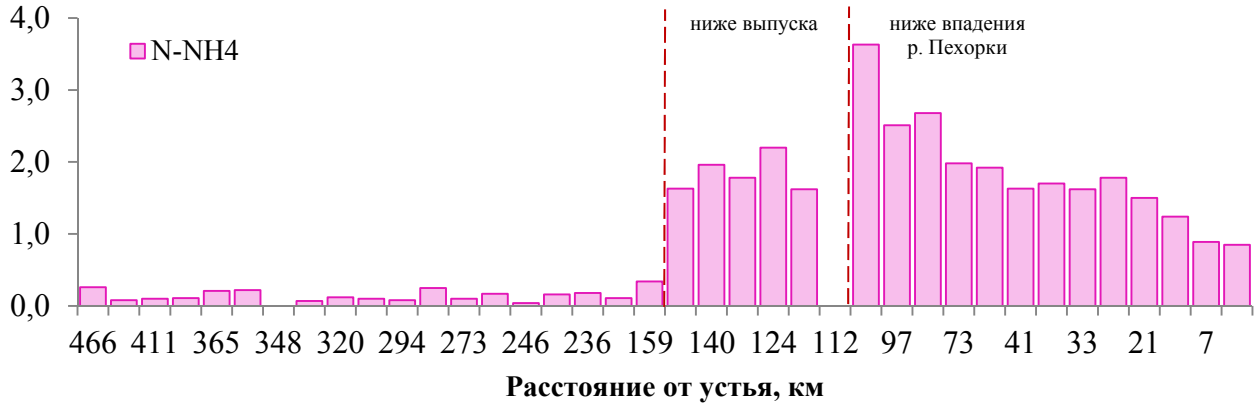

Рис. 3. Изменение содержания аммонийного азота по течению р. Москвы

Содержание потенциально токсичных элементов. По сравнению с среднемировыми данными [13], в речных водах Москвы и притоков в среднем повышены концентрации только Cr, As, Sb, Zr, Pb, B, Zn, Sr (рис. 4). По отношению к предельно допустимым концентрациям ($ПДК_{к-б}$) в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [5] в реке Москве и ее притоках в среднем превышений не выявлено. Только отношение максимальных концентраций Fe и Al, характерных для истока Москвы, к ПДК составило 4,3 и 2,6 соответственно (рис. 4). Превышение $ПДК_{к-б}$ по содержанию Fe в верхнем течении р. Москвы согласуется с ранее полученными данными других авторов [6; 9].

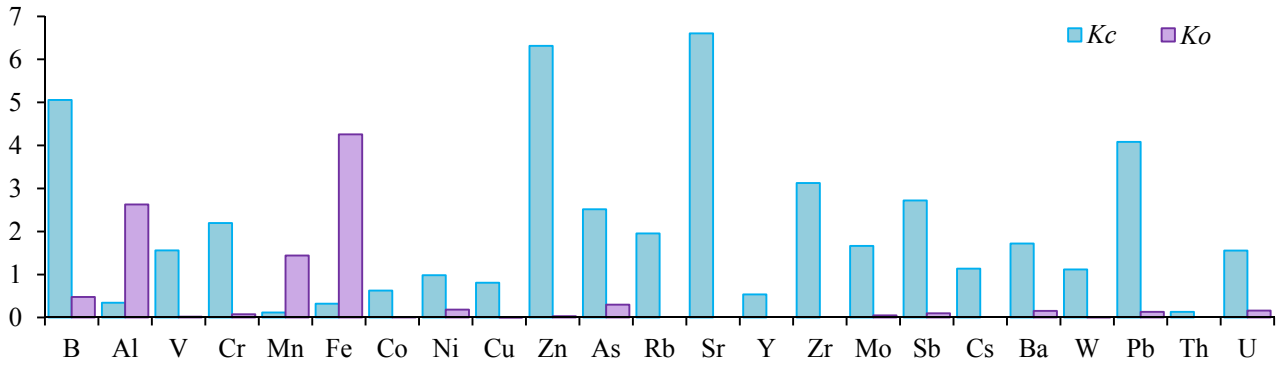

Рис. 4. Превышение концентраций ПТЭ в водах р. Москвы и ее притоков по сравнению со средними содержаниями элементов в реках мира (K_c) и предельно допустимыми концентрациями элементов (K_o)

Существенный вклад в содержание растворенных ПТЭ вносят КОС и ЛОС, ниже которых в 2–9 раз возрастают концентрации Zr, Bi, Cs, B, Zn, Ni, Rb, K. В целом ниже г. Москвы в речных водах выявлено повышение концентраций растворенных Cu, Sr, Pb, Rb, Zn, Sb, Cs, W, Ni в 2 – 13 раз (рис. 5), что согласуется с данными других авторов [9]. Эти элементы могут поступать как из природных, так и из техногенных источников.

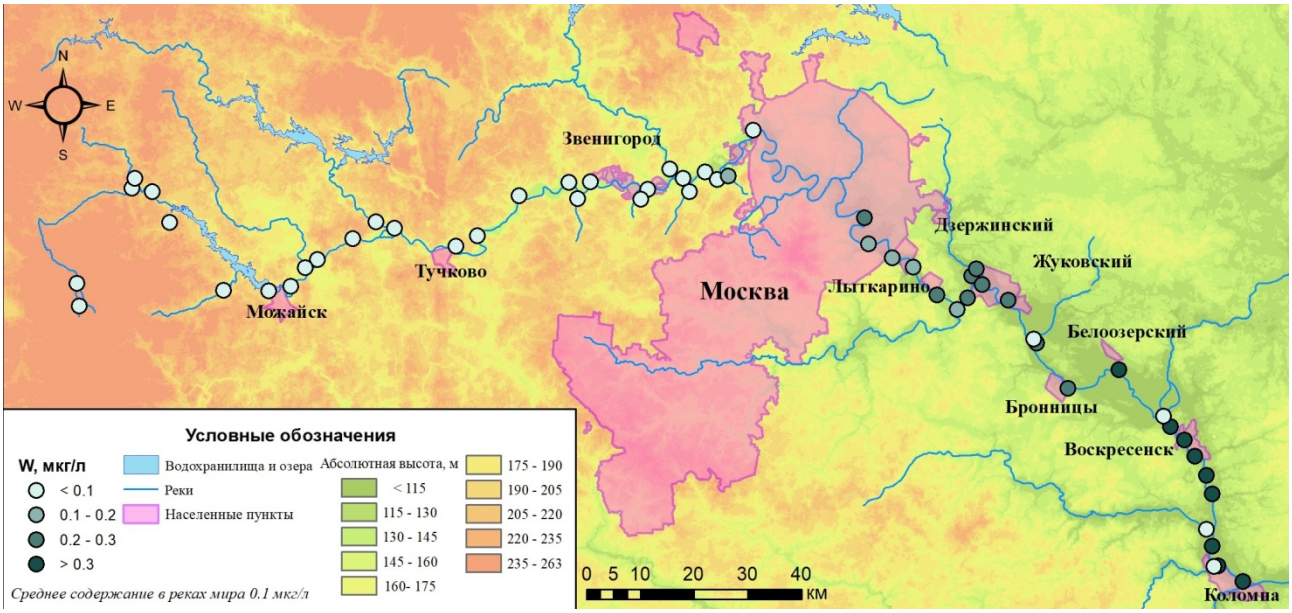

Рис. 5. Содержание W в речных водах Москвы и ее притоков

Кластерный анализ, проведенный совместно с корреляционным, позволил выявить 8 ассоциаций элементов (рис. 6) с физико-химическими показателями речных вод и макрокомпонентами с достаточной теснотой связей (< 0,5):

1) удельная электропроводность (k)–Cl–Na–Mo–B–Sr (r = 0. 7–0. 9);
2) $ХПК_р$–W–Cu–Ni (r = 0. 7–0. 8);
3) $N_{общ\ р}$–$P_{в\ р}$–SO_4–K–Cs–Rb–Sb (r = 0. 8–0. 9, и для $P_{в\ р}$ r = 0. 3);
4) Mn–Bi (r = 0. 5);
5) Fe–Y (r = 0. 9);
6) HCO_3–Ca–Mg (r = 0. 7);

7) Al–Zr (r = 0. 6);

8) As–Cr–V–Pb–U (r = 0. 5–0. 8).

Таким образом, удельная электропроводность речных вод в наибольшей степени влияет на миграцию растворенных Cl–Na–Mo–B–Sr. Установлено, что основным источником Sr и Mo в городской среде являются выбросы автотранспорта [3], а Cl и Na могут поступать с антигололедными реагентами – хлоридами и карбонатами Na, Ca, Mg, Sr [15]. В речных водах дополнительным источником хлоридов и Na являются сбросы городских сточных вод.

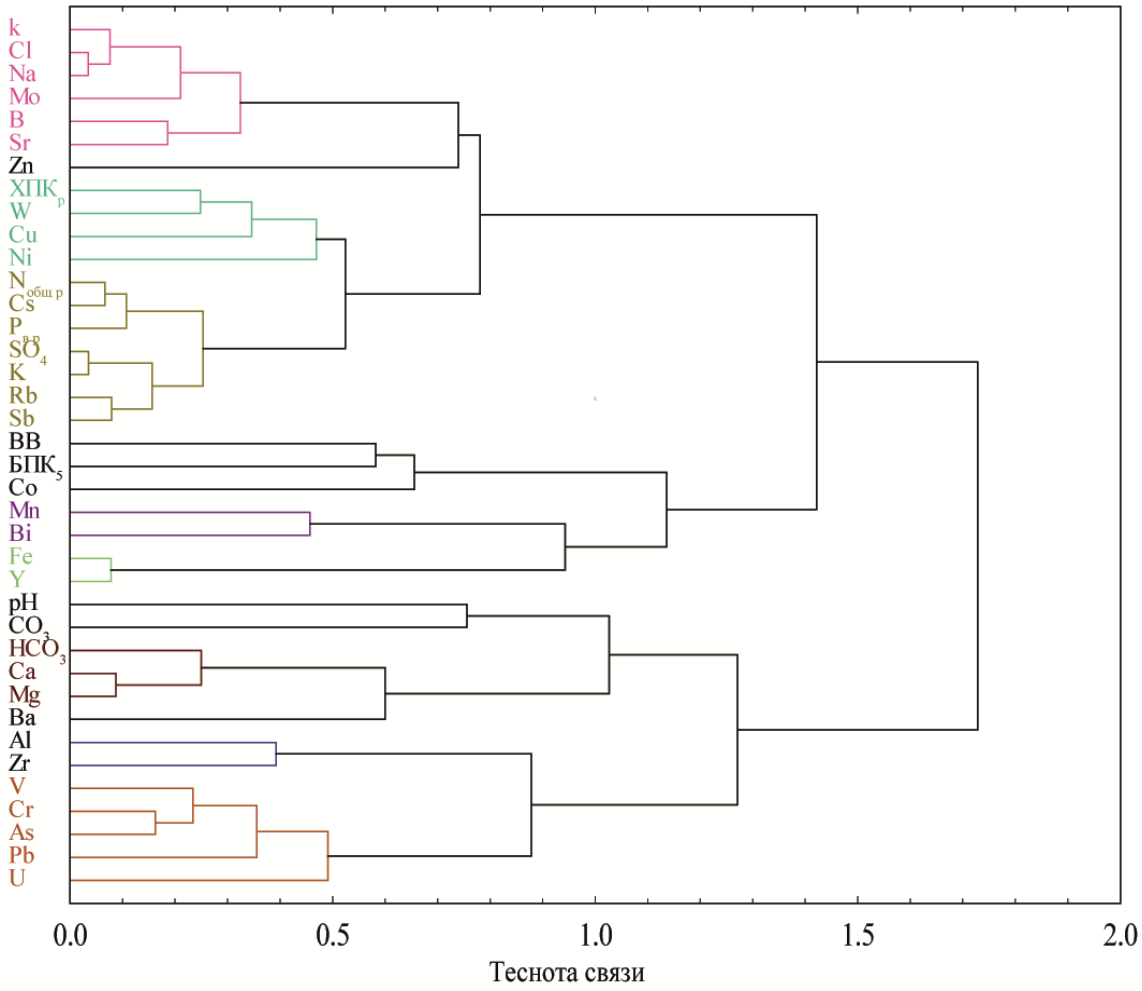

Рис. 6. Дендрограмма по результатам кластерного анализа. Метод полных связей (Complete linkage), мера сходства 1-Pearson r.

Содержание W, Cu и Ni в большей степени зависит от $ХПК_р$. Ранее было установлено, что основным источником Cu (до 84 % городских стоков) являются сточные воды [7], для которых в пределах города характерно устойчивое загрязнение органическим веществом по ХПК [6].

Концентрации Cs, Rb, Sb зависят от нескольких характеристик: $N_{общ\ р}$ (общий растворенный азот), $P_{в\ р}$ (валовый растворенный фосфор), количество SO_4^{2-} и K. В частицах $PM_{1–10}$ дорожной пыли г. Москвы Sb является важным индикатором влияния транспорта, так как может поступать с выбросами мотор-

ного масла, при истирании шин, тормозных колодок и подшипников [3]. Существенная корреляция между концентрациями Rb и K была ранее установлена в речной системе Ганг – Брахмапутра, где основным источником этого литофильного элемента являются карбонатные горные породы [14]. Таким образом, источником данной ассоциации могут являться городские почвы.

Bi из ассоциации Mn–Bi достаточно часто присутствует в осадках сточных вод, в том числе образующихся на Курьяновских и Люберецких очистных сооружениях [11].

Ассоциация Fe–Y вероятно поступает со стоками с сельскохозяйственных полей выше города, что подтверждается более высокими концентрациями этих элементов в створах в верхнем течении р. Москвы. Наличие соединений Fe в речных водах свидетельствует об активизации процессов эрозии почв и деградации гумусовых веществ [12]. Кроме того, установлено, что фосфатное сырье для минеральных удобрений часто обогащено Y [11].

HCO_3–Ca–Mg ассоциация, по-видимому, связана с размыванием карбонатных пород (известняки и доломиты), достаточно широко распространенных в Московском регионе. Дополнительным источником карбонатной пыли в городе служат строительные площадки [15].

Al–Zr ассоциация отличается повышенными концентрациями на участке от поселка Тучково ниже сбросов завода железобетонных изделий ООО «ТУБЕТОН» до впадения р. Гжелки в 230 км ниже по течению. На протяжении данного участка в р. Москву поступают сточные воды поселка Тучково, городов Звенигорода, Москвы (КОС и ЛОС), Дзержинского, Лыткарино, Жуковского. Кроме того, источником Zr могут служить стоки, размывающие россыпь титан-циркониевых минералов, расположенную на Теплостанской возвышенности в пределах Москвы.

Одна из самых крупных ассоциаций As–Cr–V–Pb–U имеет по большей части антропогенный генезис. Pb и As были ранее выделены в числе приоритетных загрязнителей донных отложений водоемов восточной части Москвы [4]. Так, повышенные концентрации Pb, выявленные в донных отложениях прудов Восточной Москвы, связаны с выбросами предприятий машиностроения, металлообработки и по производству строительных материалов [4]. Достаточно высокие концентрации As установлены в ливневых стоках опытного химико-металлургического завода в г. Подольске и в р. Пахре в пределах Щербинской свалки промышленно-бытовых отходов [11].

Выводы

Полученные данные позволяют сделать вывод о достаточно стабильных значениях pH и электропроводности, слабо меняющихся от истока к устью р. Москвы в период весеннего половодья (апрель) и летней межени (август) 2019 г. Величина ХПК возрастала от истока до устья р. Москвы в 3 раза, БПК – более чем в 10 раз. Содержание нитритного, нитратного, аммонийного и общего азота, общего и минерального фосфора существенно увеличивается (в 3–7 раз) ниже выпуска Курьяновских и Люберецких очистных сооружений и ниже впадения р. Пехорки, сохраняя повышенные значения до устьевой области.

Различия в концентрациях биогенных элементов ниже и выше Москвы составляет от 2 до 18 раз.

Средние содержания потенциально токсичных элементов в Москве и ее притоках не превышают предельно допустимые концентрации в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Результаты кластерного и корреляционного анализа позволили выделить 8 ассоциаций растворенных элементов с физико-химическими свойствами речных вод, обусловленных воздействием сельского хозяйства (Fe–Y), городского автотранспорта (k–Cl–Na–Mo–B–Sr), сточных вод ($ХПК_р$–W–Cu–Ni и Mn–Bi), промышленности (As–Cr–V–Pb–U), других техногенных (Al–Zr) и природных (HCO_3–Ca–Mg) факторов, а также ассоциацию смешанного природно-техногенного генезиса ($N_{общ\ р}$–$P_{в\ р}$–SO_4–K–Cs–Rb–Sb), поступающую в основном из городских почв.

Работы по определению концентраций ПТЭ выполнялись в рамках проекта РНФ 19-77-30004; содержание взвешенного вещества анализировалось в рамках проекта РФФИ 19-05-50109; содержание биогенных веществ исследовалось в рамках проекта РГО «Москва-река от истоков до устья: гидролого-геохимическая оценка экологического состояния», статистическая обработка полученных данных проводилась в рамках темы «Природные и антропогенные изменения ландшафтно-геохимических и почвенных систем».

Список литературы

1. *Абрамова Е. А.* Геоэкологическая оценка антропогенной нагрузки на поверхностные воды бассейна реки Оки : дис. … канд. геогр. наук. СПб., 2012.

2. *Богомолова Т. Г., Курочкина В. А.* Загрязнение речных русел на урбанизированных территориях и инженерные мероприятия по улучшению их экологического состояния // Вестник МГСУ. 2010. Т. 4, № 2. С. 399–404.

3. *Власов Д. В., Касимов Н. С., Кошелева Н. Е.* Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) // Вестник Московского университета. Серия 5, География. 2015. № 3. С. 23–33.

4. *Власов Д. В., Шинкарева Г. Л., Касимов Н. С.* Металлы и металлоиды в донных отложениях водоемов восточной части Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5, География. 2019. № 4. С. 43–52.

5. ГН 2.1.5.1315 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования // КонсультантПлюс, 2017. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43149/ (дата обращения: 24.04.2017).

6. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году» / под ред. А. О. Кульбачевского. М., 2020. 222 с.

7. *Рогозина Т., Фукс Ш., Вандер Р.* Поступление вредных веществ в воду на примере бассейна реки Москвы // Великие реки 2010. М., 2011. С. 132–134.

8. *Тимофеева Е. А., Караванова Е. И.* Оценка экологического состояния Москвы-реки в районе Курьяновских очистных сооружений // Городские исследования и практики. 2018. Т. 3, № 3. С. 99–110. https://doi.org/10.17323/usp33201899-110

9. *Уваров А. Г.* Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами реки Москвы и возможность использования макрофитов рода *Potamogeton* для биомониторинга тяжелых металлов в реке // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 6. С. 150–158.

10. Влияние обводнения очищенными водами на экологическое состояние реки Пехорки / Н. М. Щеголькова, Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, О. В. Мойжес, В. Я. Пушкарь, М. Л. Владов, А. В. Старовойтов // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. Т. 10. С. 77–84.

11. *Янин Е. П.* Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М. : АРСО, 2018. 415 с.

12.. Экологический мониторинг вод Москвы-реки в столичном мегаполисе / И. М. Яшин, И. И. Васенев, И. В. Гареева, В. А. Черников // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. Вып. 5. С. 8–25.

13. *Gaillardet J., Viers J., Dupré B.* Trace Elements in River Waters // Treatise on Geochemistry. Elsevier, 2003. P. 225–272. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05165-3.

14. Strontium isotopes and rubidium in the Ganga-Brahmaputra river system: Weathering in the Himalaya, fluxes to the Bay of Bengal and contributions to the evolution of oceanic $^{87}Sr/^{86}Sr$ / S. Krishnaswami, J. R. Trivedi, M. M. Sarin, R. Ramesh, K. K. Sharma // Earth and Planetary Science Letters. 1992. Vol. 109, N 1–2. P. 243–253. https://doi.org/10.1016/0012-821x(92)90087-c

15. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: partitioning and deposition rates in Western Moscow / D. Vlasov, J. Vasil'chuk, N. Kosheleva, N. Kasimov // Atmosphere. 2020. 11. P. 907. https://doi.org/10. 3390/atmos11090907