

ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Доклады международной научной
конференции памяти
выдающегося русского ученого
Юрия Борисовича Виноградова

ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН

СБОРНИК



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Санкт-Петербург

2023



Санкт-Петербургский государственный
университет

Сборник докладов международной научной
конференции памяти выдающегося русского
ученого Юрия Борисовича Виноградова

ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ
ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН

Санкт-Петербург, 5–14 октября 2023 г.

Под редакцией О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной

Санкт-Петербург
2023

УДК 556
ББК 26.22
С28

- C23 Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова «Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен» [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 2023 год / под ред. О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2023. — 689 с.

ISBN 978-5-9651-0730-8

Международная научная конференция «Пятые Виноградовские Чтения. Гидрология в эпоху перемен» памяти выдающегося русского ученого-гидролога Юрия Борисовича Виноградова проводится в Санкт-Петербургском государственном университете в 2023 году в пятый раз (2013, 2015, 2018, 2020). Она стала регулярной научной платформой для свободной дискуссии по проблемам развития гидрологии и поискам путей их преодоления, синтеза современных подходов в области изучения гидрологических процессов и их применения для решения фундаментальных и практических задач.

УДК 556
ББК 26.22

Book of proceedings of the international scientific conference in memory of the outstanding Russian scientist Yuri Vinogradov “Fifth Vinogradov Conference. Hydrology in the era of change” [Electronic resource]; St. Petersburg, 2023 / ed. O. M. Makarieva, P. A. Nikitina. — St. Petersburg: VVM Publishing House, 2023. — 689 p.

International scientific conference “Fifth Vinogradov Conference. Hydrology in the era of change” in memory of the outstanding Russian scientist-hydrologist Yuri Borisovich Vinogradov is held at St. Petersburg State University in 2023 for the fifth time (2013, 2015, 2018, 2020). It has become a regular scientific platform for free discussion on the problems of the development of hydrology and the search for ways to overcome them, synthesis of modern approaches in the field of studying hydrological processes and their application to solve fundamental and practical problems.

ISBN 978-5-9651-0730-8

© Макарьева О. М., Никитина П. А., 2023

Оценка выноса основных загрязняющих веществ через замыкающий створ реки Сетунь

С.С. Соловьева*, Л.Е. Ефимова, М.А. Терешина, О.Н. Ерина, Д.И. Соколов

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
sevastiana01@mail.ru*

Аннотация. Малые реки, к которым относится р. Сетунь, составляют основу гидрографической сети, будучи при этом самыми многочисленными, но и наиболее уязвимыми элементами речных систем. Для оценки воздействия различных факторов на гидрохимический режим реки Сетунь по материалам 2019-2022 гг. проведен статистический анализ стока загрязняющих веществ (главные ионы, соединения азота, кремний, соединения фосфора, БПК₅, ХПК) через замыкающий створ реки. В ходе работы изучена степень неоднородности данных мониторинговых наблюдений и цикличность колебаний концентраций основных поллютантов. Проведен квартильный анализ, в результате которого выявлена зависимость главных ионов и биогенных веществ от водности реки. Построены функции распределения вероятностей, и проведен кластерный анализ, выделивший 4 основных группы веществ (по факторам формирования).

Ключевые слова: малые городские реки, гидрохимия, статистическая оценка.

Estimation of the removal of the main pollutants through the mouth cross-section of the Setun River

S. Soloveva*, L. Efimova, M. Tereshina, O. Erina, D. Sokolov

*Moscow State University, Moscow, Russia
sevastiana01@mail.ru*

Abstract. Small rivers, to which the Setun belongs, form the basis of the hydrographic network, being at the same time the most numerous, but also the most sensitive elements of river systems. To evaluate the impact of various factors on the hydrochemical regime of the Setun River in 2019-2022, a statistical assessment was made for the runoff of a number of pollutants (major ions, silicon, nitrogen and phosphorus compounds, BOD₅, COD) through the cross section near the mouth of the river. The heterogeneity of monitoring data and the cyclical fluctuations in the concentrations of the main pollutants in 2019-2022 were studied. Quartile analysis was performed, as a result of which the dependence of major ions and nutrient concentrations on water discharge was revealed. Probability distribution functions were constructed, and cluster analysis was carried out to identify 4 main groups of chemical compounds of different genesis.

Keywords: small city rivers, hydrochemistry, statistical assessment.

Введение

В современный период с каждым годом на водосборе Сетуни увеличивается доля застроенных территорий. Заметное влияние на качество воды городских рек оказывают стоки с территорий многочисленных предприятий, коммунально-бытовые сточные воды

и поверхностный диффузный сток, на поступление которого колоссальное влияние оказывает городская застройка. Влияние климатических факторов на гидрохимический режим и состояние вод малых городских рек, как правило, ослаблено за счет высокой антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Для оценки воздействия различных факторов на гидрохимический режим реки Сетунь по материалам 2019-2022 гг. выполнен статистический анализ стока загрязняющих веществ (главные ионы, соединения азота, кремний, соединения фосфора, БПК₅, ХПК) через замыкающий створ реки.

Вычисления производились по всему ряду данных, разделенному на два периода по водности (маловодный – межени и многоводный – половодья, паводки). Информация о гидрологическом режиме реки Сетунь, необходимая для расчета стока загрязняющих веществ через замыкающий створ, была получена из данных, предоставленных проектом «Водный, русловой и гидрохимический режим крупнейших городских агломераций в условиях роста экстремальных дождей осадков: сравнительный анализ Москвы и Шанхая» [2]. Для оценки гидрохимического состояния реки и стока поллютантов применялись статистические методы. Определения концентраций поллютантов с 25 и 75 процентной вероятностью их превышения и смещения медианных значений относительно среднего производилось через квартильный анализ. Определение типа распределения для каждого из поллютантов и выделение основных групп поллютантов через кластерный анализ осуществлялось с помощью функционала программы STATISTICA и расчета коэффициентов асимметрии (C_s). Однородность и цикличность рядов данных определялись при помощи, соответственно, расчета коэффициента вариации (C_v) и построения графиков функций автокорреляции (r) (Табл.).

Результаты и выводы

Основной закономерностью в распределении всех изученных веществ является превышение среднего значения над медианным. Это свидетельствует о наличии положительной асимметрии в каждом из полученных рядов. Отрицательная асимметрия возникает при наличии экстремально больших значений и более характерна для веществ, содержание которых в водах Сетуни зависит от уровня антропогенного воздействия. Так, у магния, калия, гидрокарбонатных ионов и сульфатов медианное значение практически равно среднему, а у хлоридов, натрия и кальция, входящих в состав противогололедных реагентов, значительно превышает его.

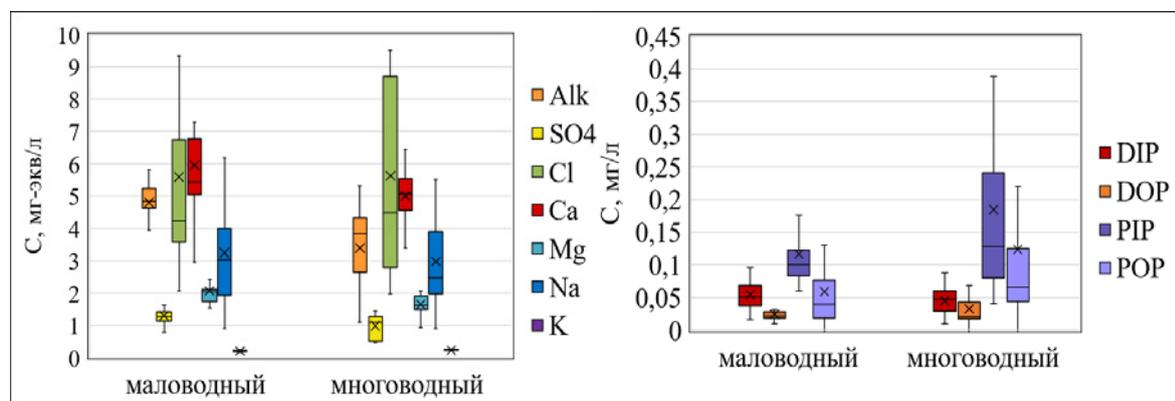


Рис. 1 Результаты квартильного анализа распределения главных ионов и биогенных веществ в маловодный и многоводный периоды в устье р. Сетунь за период 2019-2022 гг.

Для всех веществ характерно увеличение квартильного и абсолютного размаха значений в многоводные периоды. Увеличивается разброс значений, их неоднородность. Для большинства биогенных веществ в многоводные периоды повышаются значения верхнего квартиля; у ионов – понижаются границы нижнего квартиля. В периоды паводков и половодий в распределении биогенных веществ возрастает доля случаев фиксации их высокого содержания, что приводит к сдвигу границы значений 25%-й обеспеченности (Рис.1). Наибольший уровень экстремально повышенных значений характерен для взвешенного органического фосфора, среднее значение содержания которого равняется величине верхнего квартиля. Подобные изменения связаны с увеличением диффузного стока в многоводные периоды. У большинства ионов наоборот увеличивается доля низких концентраций (Рис.1), что в первую очередь связано с увеличением разбавления речных вод талым и дождевым маломинерализованным стоком с расположенных в границах ООПТ территорий. Распределение в области высоких обеспеченностей при этом практически не меняется.

Табл. Статистические параметры распределения основных загрязнителей в устье Сетуни за период 2019-2022 гг.

	m	σ	Cv	Cs	Cs/Cv	r
NO ₂	80,1	43,2	0,54	1,5	2,78	0,6
N _{общ}	3,13	0,93	0,3	-0,13	-0,44	0,6
N _{общ раств.}	2,54	0,64	0,25	-1,03	-4,07	0,66
Si	5,96	0,89	0,15	-22,5	-150	0,59
PIP	0,12	0,13	1,06	1,7	1,57	0,48
DIP	0,04	0,02	0,52	-2,9	-5,53	0,66
POP	0,07	0,1	1,39	1,6	1,12	0,58
DOP	0,02	0,01	0,42	-6,3	-14,82	0,69
XПК _{раств.}	42,6	22,2	0,52	-0,78	-1,5	0,77
Мутность	88,6	134	1,51	3,99	2,64	0,4
Alk	263	61,25	0,23	-1,37	-5,89	0,66
SO ₄	127	47,37	0,37	1,52	4,07	0,53
Cl	189	152,26	0,81	1,75	2,17	0,78
Ca	223	87,78	0,39	2,23	5,67	0,63
Mg	47,1	20,58	0,44	2,01	4,59	0,68
Na	73,9	42,11	0,57	0,06	0,11	0,72
K	9,33	2,87	0,31	2,49	8,1	0,49
M	931,89	339,57	0,36	1,99	5,47	0,49

Выявлена высокая неоднородность данных, отчасти обусловленная антропогенными факторами (застройка бассейна, сбросы промышленных и коммунальных стоков, смыв с автотрасс вод, насыщенных солями реагентов). Степень изменчивости стока химических веществ определялась через коэффициент вариации (табл.1; от 0,15 для Si до 1,51 для мутности). Согласно полученным результатам ($\overline{C}_v=0,56$) можно сделать вывод, что для большинства элементов химического состава характерна значительная степень рассеивания и неоднородность концентраций за период мониторинга ($\overline{C}_v>0,33$). Однородными рядами можно считать только данные о содержании общего взвешенного (0,3) и растворенного (0,25) азота, Si (0,15), Alk (0,23) и K (0,31).

Модуль значений коэффициента асимметрии (табл.1) большинства загрязнителей изменяется в диапазоне от 1 до 2,5. Исключение составляют кремний (Cs=-22,5),

растворенный органический фосфор (-6,5) и взвешенные вещества (3,99). Наиболее симметричное распределение характерно для натрия (0,06) и азота (0,13). Количество веществ с положительной (пик смещен влево от m) и отрицательной (пик смещен в сторону больших значений относительно мат.ожидания, большинство значений меньше среднего) асимметрией приблизительно одинаково. Наибольшая асимметрия характерна для распределения Si (-22,5). Асимметрия существенно усиливается из-за сильно преобразованного водосбора реки и активного использования ее вод в коммунальной отрасли и промышленности, что было доказано при аналогичных исследованиях в бассейне р. Москвы [1].

Через r была рассчитана степень взаимосвязи содержания вещества с его концентрациями в начале периода наблюдений. Это позволяет определить, как сильно изменились условия формирования стока конкретного химического элемента. Все значения автокорреляции положительные (Табл.), что может говорить о наличии постоянного антропогенного влияния. Средний коэффициент автокорреляции составил 0,66. Наименьшими r характеризуется изменчивость содержания взвешенных веществ, калия и содержания взвешенного минерального фосфора ($r=0,4-0,49$). Следовательно, воздействие, оказываемое на сток этих элементов минимально. Максимальные r наблюдались для Cl (0,78) и Na (0,72) наиболее зависящих от деятельности человека (снегоплавильные пункты, противогололедные реагенты). Построение выборочных автокорреляционных функций производилось для выявления наличия тренда и цикличности выбранных данных, определения наличия или отсутствия хаотической природы колебаний. Значение лага функции было выбрано равным 13, то есть четверти длины ряда данных ($k < n/4$, $n/4=13,75$). Для большинства загрязняющих веществ было характерно постепенное убывание коэффициента автокорреляции при увеличении порядка r (Рис. 2). Максимальные значения у автокорреляции первого порядка, что свидетельствует об отсутствии хаотичности и цикличности в колебаниях концентраций данных веществ. Исключение составили коррелограммы различных форм фосфора, для которых было характерно повышение значений автокорреляционной функции с лагом, равным 10. Это может говорить о наличии цикличности в изменчивости содержания фосфора (рис.2) в устье Сетуни с 10-месячной периодичностью.

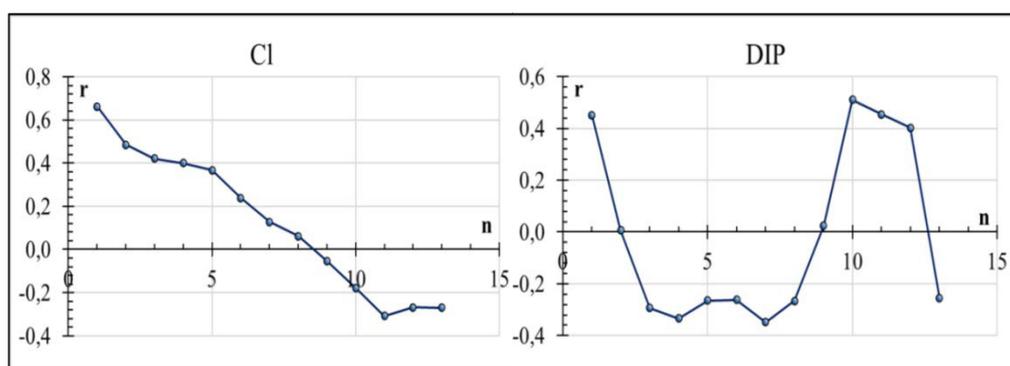


Рис. 2 Автокорреляционные функции распределения хлоридов и растворенного минерального фосфора в устье р. Сетунь в 2019-2022 гг.

Выяснено, что для стока большинства ионов (например, хлоридов, рис.3в) наиболее характерно логнормальное распределение, биогенные вещества подчиняются гамма-распределению, что может быть связано с разной природой их неоднородности. Исключение составляют нитриты (Рис. 3б) и валовый фосфор, наиболее приближенные к логнормальному распределению. Для выявления веществ со схожими условиями образования и природой неоднородности по данным о ежесуточном стоке химических веществ был проведен кластерный анализ (Рис. 3а). Построение кластеров

производилось в виде дендрограммы, что позволяет создать сложную иерархическую структуру. Выделение кластеров происходило по соответствию евклидовых расстояний.

В результате кластерного анализа определены 4 группы веществ, на формирование стока которых оказывают влияние схожие для кластера факторы. А именно: строительные работы в бассейне, сбросы коммунальных стоков, диффузный сток, природные факторы. В первый кластер входят N_o и $N_{раств}$; Si и взвешенные вещества с ХПК_{раств}. Они подвержены активному воздействию строительства в бассейне на сток химических веществ. В частности, за счет повышения эрозионного смыва при расчистке строительных площадок, или поступления в русло реки грунтовых вод (Si). Вторая группа включает в себя две подгруппы. В первую входят Na, Mg и NO_2 . Вторая группа состоит из Alk, Cl, Ca, SO_4 и PIP. Большая часть веществ этих кластеров тесно взаимосвязана через ионный состав (доли Alk, Cl, Ca практически равны и изменение содержания Alk обратно изменчивости Cl). Соединения $CaCl_2$ входят в состав противогололедных реагентов, поэтому Ca имеет одинаковую степень взаимосвязи с Cl и Alk. Содержание минерального фосфора может увеличиваться за счет адсорбирования на взвеси частиц моющих средств. Этот кластер основан на смыве загрязнителей с водосбора.

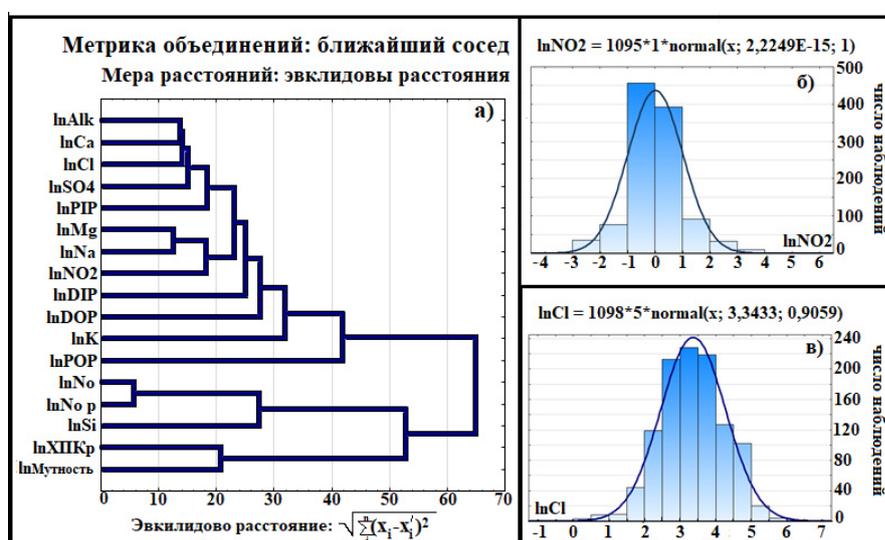


Рис. 3 Распределение по кластерам химических веществ (а) и ФРВ Cl(б) и NO_2 (в).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 19-77-30004-П).

Acknowledgments

This study was supported by Russian Science Foundation (project 19-77-30004-П)

Список литературы

1. Ефимова Л. Е., Куликов В. А., Даценко Ю. С. Качество воды верхнего участка реки Москвы // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Водные ресурсы России: современное состояние и управление» Т. 1., Сочи, 8-14 октября 2018 г., С. 350–356.
2. Chalov S., Platonov V., Erina O., Moreido V., Samokhin M., Sokolov D., Tereshina M., Yarinich Yu., Kasimov N. Rainstorms impacts on water, sediment, and trace elements loads in an urbanized catchment within Moscow city: case study of summer 2020 and 2021 // Theoretical and Applied Climatology. 2023. №151. С. 871-889