

*А. Ю. Танакова<sup>1✉</sup>, И. Е. Васильева<sup>1</sup>*

## **Динамика поступления консервативных примесей с водосборов малых рек урбанизированных территорий (на примере реки Барнаулки)**

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН,  
г. Барнаул, Российская Федерация  
e-mail: a.u.goponenko@mail.ru

**Аннотация.** В работе исследовано диффузное загрязнение малой городской реки Барнаулки консервативными примесями (тяжелые металлы, сульфаты, хлориды). Выполнен анализ пространственного распределения микро- (Li, Ti, Al, Mn) и макрокомпонентов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) на 10-километровом участке реки в черте г. Барнаула. Отбор проб (30 точек) проводили в июле 2024 г. с последующим анализом методом ICP-MS и ионной хроматографии. Выявлены закономерности трансформации загрязняющих веществ под влиянием природных и антропогенных факторов. Установлено, что особенности гидрохимического режима реки определяются как естественными процессами (выщелачивание из почв, окислительно-восстановительные реакции), так и интенсивным антропогенным воздействием (городские стоки, промышленные сбросы). Полученные данные имеют практическое значение для разработки системы мониторинга и мероприятий по охране малых рек в условиях урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** диффузное загрязнение, консервативные примеси

*A. Yu. Tanakova<sup>1✉</sup>, I. E. Vasilyeva<sup>1</sup>*

## **The Dynamics of conservative impurities inflow from the watershed area of small rivers in urbanized territories (case study of the Barnaulka River)**

<sup>1</sup>Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS,  
Barnaul, Russian Federation  
e-mail: a.u.goponenko@mail.ru

**Abstract.** The paper investigates diffuse pollution of the small urban Barnaulka River by conservative impurities (heavy metals, sulfates, chlorides). The spatial distribution analysis of micro- (Li, Ti, Al, Mn) and macrocomponents ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) was conducted on a 10-kilometer river section within the city of Barnaul. Sampling (30 points) was performed in July 2024, followed by analysis using ICP-MS and ion chromatography. Patterns of pollutant transformation under the influence of natural and anthropogenic factors have been identified. It has been established that the specific features of the river's hydrochemical regime are determined by both natural processes (leaching from soils, redox reactions) and intense anthropogenic impact (urban runoff, industrial discharges). The obtained data are of practical significance for developing a monitoring system and protection measures for small rivers in urbanized areas.

**Keywords:** diffuse pollution, conservative impurities

## ***Введение***

Диффузное (рассеянное) загрязнение водных объектов представляет собой значительную экологическую проблему, особенно в урбанизированных и сельскохозяйственных районах. В отличие от точечных источников, таких как промышленные сбросы, диффузное загрязнение формируется за счет множества рассредоточенных поступлений загрязняющих веществ с территории водосбора. Особую опасность представляют консервативные примеси – устойчивые к разложению вещества, способные накапливаться в воде и донных отложениях, оказывая долгосрочное негативное воздействие на экосистемы [1, 2]. Среди веществ, поступающих в природные воды, можно выделить некоторые виды консервативных примесей: неорганические соли тяжелых металлов, пестициды и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), входящие в состав синтетических моющих средств (СМС), или детергентов [3, 4]. Малые реки в урбанизированных районах подвержены значительному антропогенному воздействию, что приводит к изменению их гидрохимического режима. Река Барнаулка, протекающая через одноименный город, является типичным примером малой реки, испытывающей нагрузку от промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных стоков [5, 6].

**Цель работы** - изучить динамику поступления консервативных примесей в малую реку урбанизированной территории на примере р. Барнаулка и оценить влияние антропогенных факторов на их накопление в водной экосистеме.

## ***Материалы и методы***

Река Барнаулка – левый приток р. Оби, относится по своей длине и площади бассейна к средним рекам, но по расходу воды – это малая река [7]. Приустьевой участок реки длиной 10,1 км находится на территории города Барнаула, площадь водосборного бассейна на территории города – 125,5 км<sup>2</sup> [8].

Питание реки смешанное, с преобладанием снегового. Гидрологический сток водотоков г. Барнаула формируется за счет талых вод сезонных снегов, дождей и грунтовых вод, при этом доля снегового питания составляет 60–80% стока, дождевого – 5–10%, грунтового – 5–15%. В условиях плотной городской застройки, асфальто-бетонного покрытия тротуаров и транспортных магистралей, засыпки ручейковых долин, а также аккумуляирования мусора в русле рек доля грунтового питания нижнего течения р. Барнаулки сократилась до 1–2 % [8].

Отбор проб на участке р. Барнаулки в черте города Барнаула был выполнен 16 июля 2024 г. Пробы отбирались в 30-ти точках относительно равномерно рассредоточенных по длине участка. Верхняя (по течению реки) точка с номером (идентификатором) 30 располагалась на юго-западной окраине города в районе с малоэтажной (коттеджной) застройкой, нижняя точка с номером 01 – в центральной части города, в 200-х метрах от устья реки. Общая протяженность исследованного участка реки – 10 км (рис. 1).

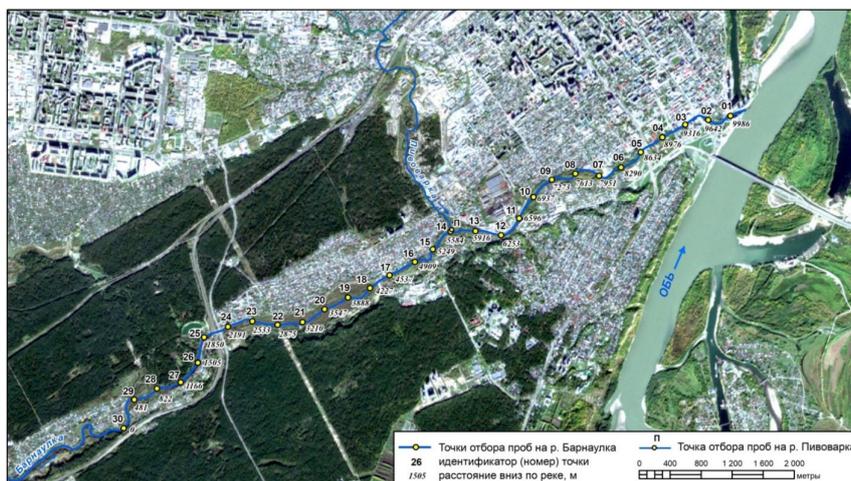


Рис. 1. Картохема точек отбора проб на р. Барнаулка, 16 июля 2024 г.  
Подложка – снимок спутника Sentinel 04.10.2023 г.

Пробы воды отбирали с помощью батометра на штанге (объем 0,5 л) с середины реки на глубине 0,5 h, где h — глубина реки. Для определения микро- и макрокомпонентного состава использовалась специально подготовленная посуда, которая предварительно трижды ополаскивалась отбираемой пробой воды. В день отбора пробы были доставлены в лабораторию, где в тот же день их консервировали в соответствии с требованиями к определению изучаемых показателей или проводили непосредственную пробоподготовку для последующего анализа.

Для определения ионного состава аликвоты проб природной воды перед анализом фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм, используя шприцы и шприцевые фильтр-насадки Minisart NML Plus. Для разбавления проб применяли чистую деионизованную воду, фоновый сигнал по электропроводности которой был менее 1,0 мкСм/см. Для определения валовых форм микрокомпонентов к 50 мл нефилтрованной пробы воды добавляли 0,5 мл концентрированной азотной кислоты марки ОСЧ и выдерживали в течение 1 месяца для полного окисления и перехода в раствор определяемых микрокомпонентов.

Определение микрокомпонентов Ti, Li, Al, Mn проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе iCAP-Qc, Termo Fisher Scientific, Германия. Массовые концентрации макрокомпонентов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> определяли методом ионной хроматографии на приборе ICS-3000 корпорации Dionex.

### *Результаты*

На основании данных, полученных при анализе проб, были построены линейные диаграммы, отображающие содержание микро- и макроэлементов в зависимости от мест отбора. Это позволило проследить закономерности изменения концентраций химических элементов вдоль всего исследуемого участка реки.

При приближении к городской территории и росте доли асфальтового покрытия наблюдалось монотонное снижение концентраций таких типично почвенных элементов, как Li и Ti (рис. 2, 3).

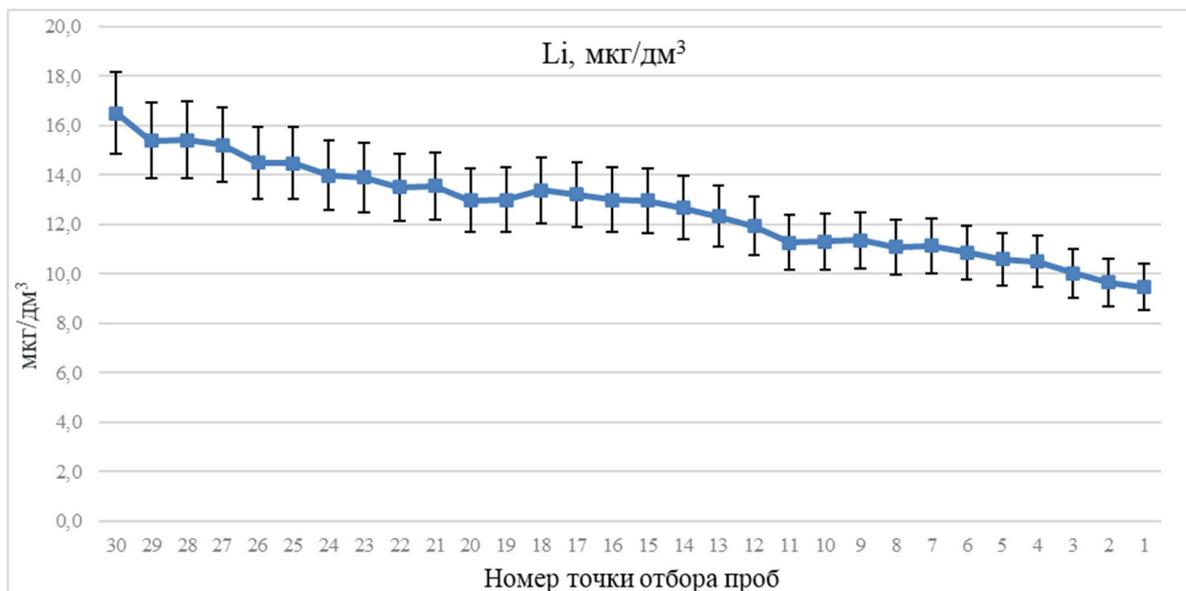


Рис. 2. Динамика изменения величины концентрации лития в р. Барнаулке на участке исследования

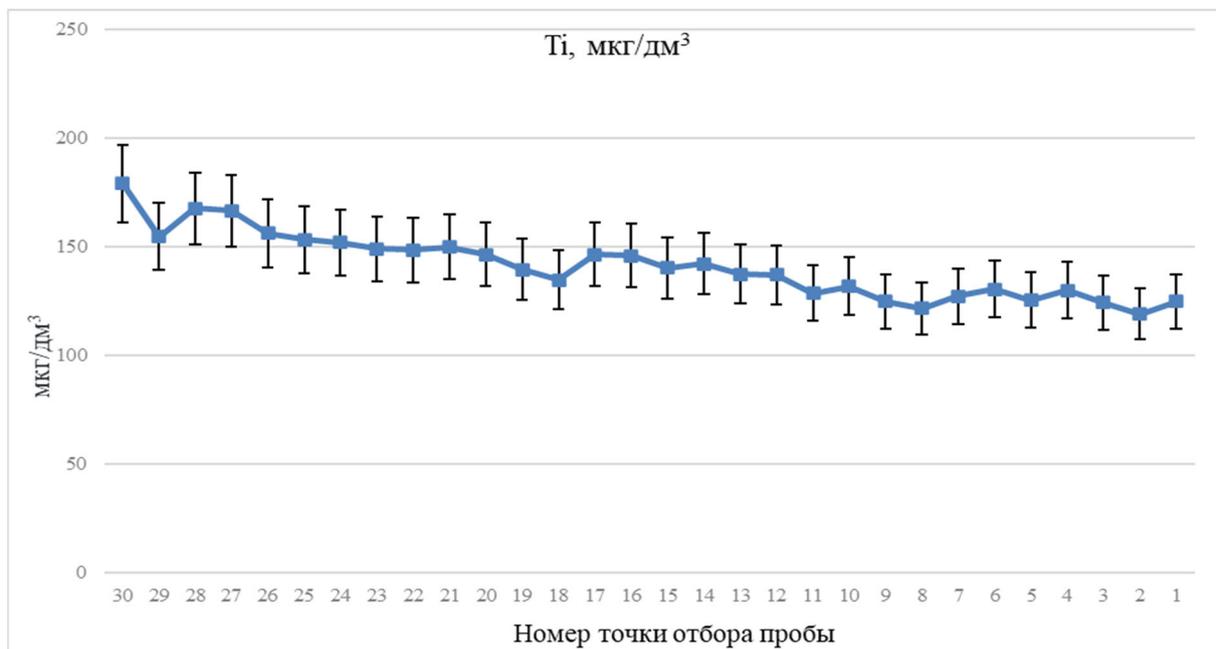


Рис. 3. Динамика изменения величины концентрации титана в р. Барнаулке на участке исследования

На графике (рис. 4) видно, что содержание сульфатов и хлоридов сначала падает на участке 19, а затем постепенно увеличивается ближе к устью реки Барнаулки.

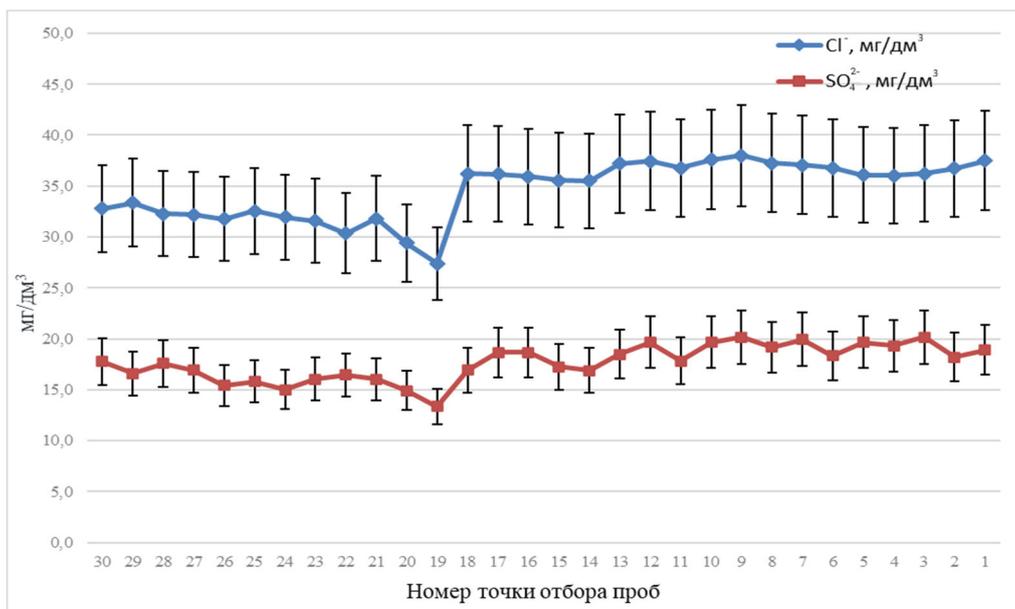


Рис. 4. Динамика изменения величины концентрации хлорида и сульфата в р. Барнаулке на участке исследования

Проведенные исследования выявили закономерности в распределении алюминия и марганца в реке Барнаулке (рис.5). Наибольшие концентрации алюминия обнаружены в точках 27, 23, ниже дамбы (точка 17) и в месте впадения реки Пивоварки (точка 14), а также в точке, приближенной к устью. Уровень марганца снижается до точки отбора №9, затем наблюдается возрастание при приближении к устью реки.

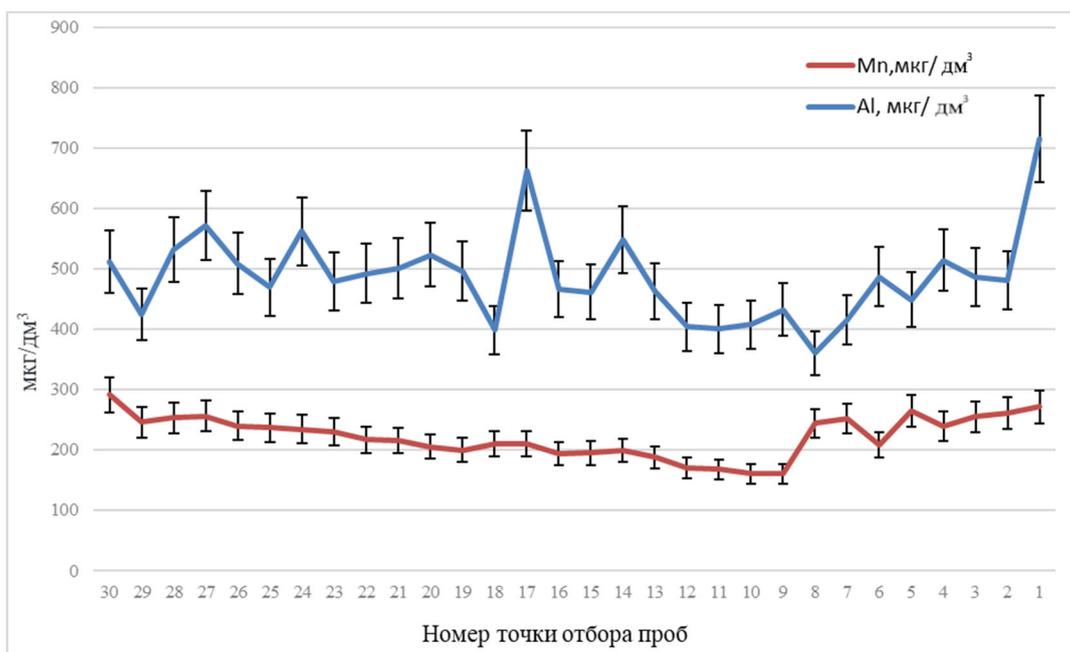


Рис. 5. Динамика изменения величины концентрации алюминия и марганца в р. Барнаулке на участке исследования

## *Обсуждение*

Данная тенденция (рис. 2, 3) указывает на снижение поступления Li и Ti с подстилающей поверхности из-за преобладания асфальтированных участков в городской черте. Отсутствие выраженных пиков концентраций позволяет предположить, что урбанизированная среда не оказывает значительного влияния на загрязнение данными поллютантами.

Снижение концентраций кальция и сульфатов на участке 19 (рис.4) коррелирует с уменьшением антропогенной нагрузки вследствие удаления от транспортных магистралей и жилых районов. В точке 18 фиксируется повышение значений, отражающее влияние урбанизированной среды. Дальнейший рост концентраций можно объяснить комплексом антропогенных факторов, включая поверхностный сток, хозяйственно-бытовые сбросы и работу дренажных систем.

Повышение концентраций алюминия в водной среде может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, источником могут служить глинистые почвы водосборного бассейна, а также поступление кислых стоков, которые при низких значениях pH (менее 5,5) способствуют переходу алюминия в растворимую форму ( $Al^{3+}$ ). В приустьевой части реки увеличение содержания алюминия может объясняться аккумуляцией взвешенных частиц, а также антропогенным воздействием, в частности, промышленными сбросами [9].

Рост концентраций марганца может быть связан с особенностями гидродинамики и окислительно-восстановительными условиями. В зонах с замедленным течением и при поступлении органических загрязнений (например, со сточными водами) формируются бескислородные условия, способствующие переходу марганца в более растворимые формы. При приближении к устью реки дефицит растворенного кислорода приводит к восстановлению  $Mn^{4+}$  до  $Mn^{2+}$ , что увеличивает его подвижность [10, 11]. Дополнительным фактором являются поверхностные смывы с асфальтированных дорожных покрытий, которые могут содержать значительные количества соединений марганца.

## *Заключение*

Проведенное исследование диффузного загрязнения реки Барнаулки позволило выявить ключевые закономерности в распределении консервативных примесей на урбанизированной территории. Основные изменения касаются пространственного распределения микро- и макрокомпонентов: снижение концентраций Li и Ti в городской черте связано с изолирующим эффектом асфальтовых покрытий, тогда как рост содержания Al обусловлен глинистыми почвами и сточными водами. Особенно заметно увеличение концентраций Mn в устьевой зоне, вызванное восстановительными условиями. Динамика  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$  чётко коррелирует с антропогенной нагрузкой.

Установлено, что пространственная динамика химических элементов определяется сложным взаимодействием природных и антропогенных факторов. Полученные данные имеют существенное практическое значение для разработки системы мониторинга диффузного загрязнения и планирования природоохран-

ных мероприятий, особенно с учетом необходимости учета особенностей трансформации загрязняющих веществ в различных гидрологических условиях.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках реализации и при поддержке гранта РФФИ № 24-27-20023 «Разработка методов оценки расхода консервативных загрязнителей на участках малых равнинных рек (на примере рек Барнаулка, Лосиха Алтайский край)» (<https://rscf.ru/project/24-27-20023/>).

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кашутина Е. А., Ясинский С. В., Сидорова М. В. Диффузное загрязнение водных объектов на территории большого города //Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. – 2022. – С. 62-68.
2. Раткович Л. Д. и др. Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты //Природообустройство. – 2016. – №. 3. – С. 64-75.
3. Рязанцева Л.Т. Загрязнение окружающей среды: источники и последствия: учеб. пособие / Л.Т. Рязанцева. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 184 с.
4. Сбойчаков, В. Б. Микробиоценоз сточных вод / В. Б. Сбойчаков, О. В. Решетникова, А. А. Ганичева. - Текст : непосредственный // Актуальная биотехнология. - 2019. - № 3. - С. 521-525. - Библиогр.: 23 назв.
5. Филимонов В. Ю., Ловцкая О. В., Кудишин А. В. Расчет диффузного стока консервативных загрязнителей для водосборов малых равнинных рек на примере реки Барнаулки //Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2023. – №. 3 (70). – С. 61-69.
6. Носкова Т. В. и др. Экологический мониторинг состояния реки Барнаулки по химическим показателям //Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2019. – №. 4 (55). – С. 130-136.
7. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2001. – 163 с.
8. Балацкая И. А., Швецов А. Я., Ревякин В. С., Гатилов Ю. А. Город Барнаул на рубеже XX и XXI столетий. Природные условия, экология, экономика, социальная сфера. Монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 190 с.
9. Носкова Т.В. Оценка влияния городской территории на загрязнение фенолами, формальдегидом и алюминием (III) поверхностных вод на участке бассейна Верхней Оби в районе г. Барнаула : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.27 / Носкова Татьяна Витальевна; [Место защиты: Ин-т вод. и экол. проблем СО РАН]. - Барнаул, 2017. - 119 с. : ил.
10. Огрызкова О. С. и др. Сезонные изменения содержания марганца в воде Новосибирского водохранилища //Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – Т. 2. – №. 3. – С. 176-180.
11. Папина Т. С. и др. Пространственно-временные закономерности распределения растворенных и взвешенных форм марганца в воде Новосибирского водохранилища //Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44. – №. 2. – С. 201-208.

© А. Ю. Танакова, И. Е. Васильева, 2025