

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛОЙ РЕКИ НА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Владимир Федотович Рапута

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

Александр Тимофеевич Зиновьев

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, доктор технических наук, зав. лабораторией гидрологии и геоинформатики, тел. (906)940-94-77, e-mail: zinoviev@iwep.ru

Ольга Вольфовна Ловцкая

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики, тел. (3852)66-65-01, e-mail: lov_olga@inbox.ru

Проведён пространственный анализ данных экспериментальных исследований загрязнения малых рек, протекающих по территории города Барнаула. Установлен ряд количественных связей между концентрациями нитратов и нитритов в точках наблюдений. На основе соотношения баланса массы примесей в водной среде выполнены оценки коэффициента разбавления.

Ключевые слова: загрязнение речной воды, нитраты, нитриты, баланс массы примеси, коэффициент разбавления.

THE ANALYSIS OF POLLUTION PROCESSES IN A SMALL URBAN RIVER

Vladimir F. Raputa

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, phone: (383)330-61-51, e-mail: raputa@sscc.ru

Alexander T. Zinoviev

Institute for Water and Environmental Problems, 1, Molodyozhnaya St., Barnaul, 6565038, Russia, Dr. Sc., Head of Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, phone: (906)940-94-77, e-mail: zinoviev@iwep.ru

Olga V. Lovtskaya

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, 1, Molodezhnaya St., Barnaul, 656038, Russia, Senior Researcher of Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, phone: (3852)66-65-01, e-mail: lov_olga@inbox.ru

The spatial analysis of experimental data on pollution of small rivers flowing through the city of Barnaul was performed. Some quantitative relationships between nitrate and nitrite concentra-

tions in observation sites were established. The dilution ratio was estimated based on the relation of impurity mass balance in the water.

Key words: river water pollution, nitrates, nitrites, impurity mass balance, dilution ratio.

Введение

Для разработки моделей и методов оценки загрязнения речной воды в результате диффузного стока примесей с урбанизированных территорий требуется привлечение данных натуральных наблюдений (гидрологических, гидрохимических и биогеохимических) по пилотным участкам рек и их водосборных территорий [1–7]. Эти работы включают в себя отбор гидрохимических проб, определение основных параметров речного потока, совмещенное по времени с отбором гидрохимических проб, промеры глубин по набору створов и т.д. [8–11].

Основой математических моделей качества воды являются соотношения баланса примесей в реке, к которым присутствуют слагаемые, описывающие изменение их концентраций за счет протекающих в воде биохимических реакций, взаимодействия со взвешенными наносами, атмосферным воздухом, поступлением со сточными водами и притоками и так далее [4, 6–8]. Необходимым этапом исследований является численный анализ экспериментальных результатов с последующей разработкой методов оценки диффузного стока с урбанизированных территорий путем решения обратных задач моделирования качества воды [7–9].

Цель работы состоит в первичном анализе данных наблюдений современных гидрологических и гидрохимических характеристик малых рек г. Барнаула.

Объекты и методы исследований

Объектами наблюдений являются р. Барнаулка и ее приток р. Пивоварка в черте г. Барнаула [10–12]. В ходе обследования по нескольким створам изучалась гидрохимия и гидрология этих рек в их нижнем течении (рис. 1). Точки 5, 6, 7 позволяют отследить изменения гидрохимических характеристик реки в зоне преимущественно малоэтажной застройки городских окраин. Точка 7, расположенная непосредственно выше устья реки Пивоварки, является входной точкой в зону с максимальной антропогенной нагрузкой. Здесь река протекает по центральной, плотно застроенной и густонаселенной части города. Кроме того, на участке между этой точкой и устьем реки расположены водовыпуски городской системы ливневой канализации. Часть ливневого стока направляется также в реку Пивоварку. Следует отметить, что эта река, целиком протекающая в пределах города, притом в основном по районам старой малоэтажной застройки (так называемого «частного сектора»), вносит существенный вклад в общее загрязнение Барнаулки. Последняя точка (т. 10) расположена вблизи устья р. Барнаулка, ниже всех ливневых водовыпусков.

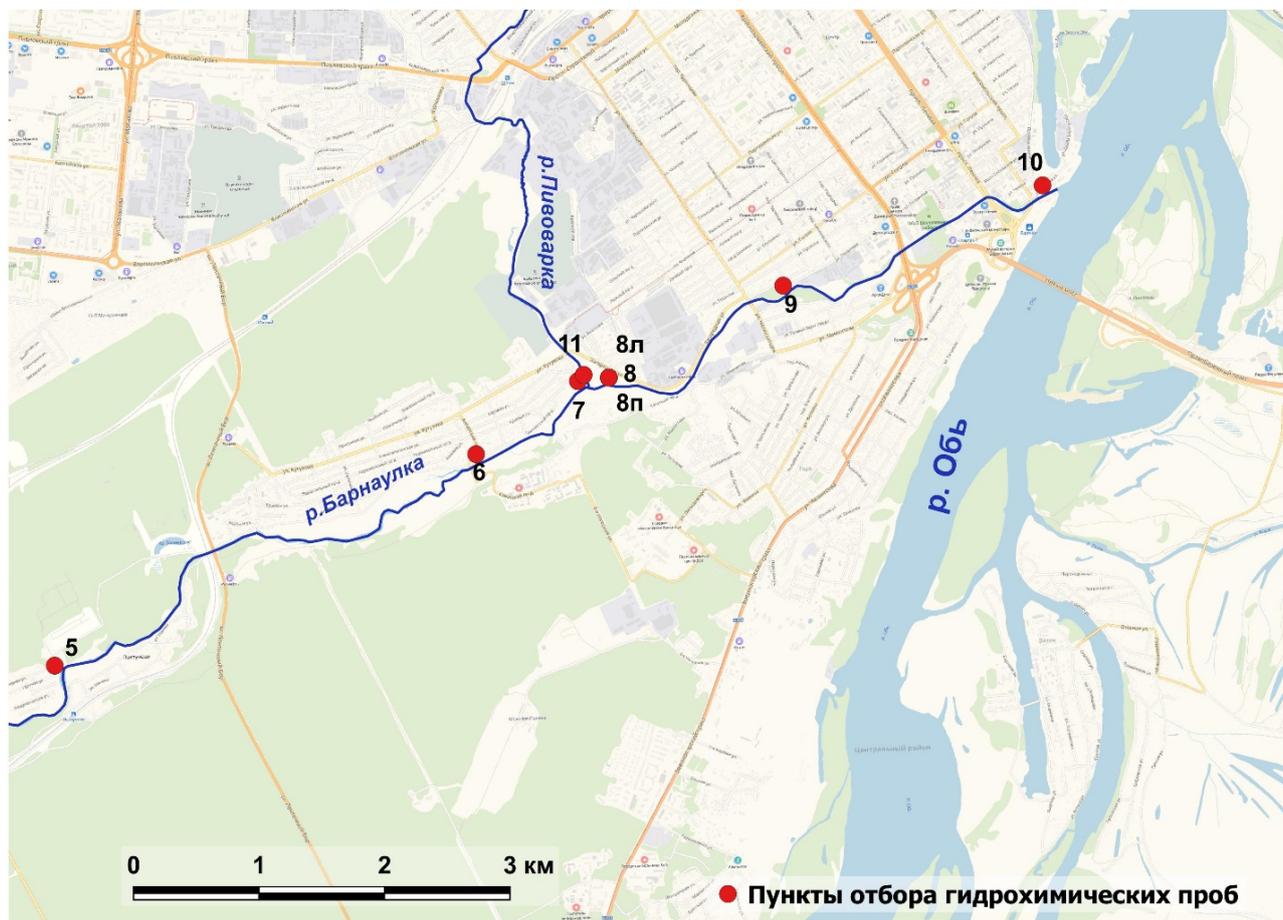


Рис. 1. Местоположение пунктов полевых работ на р. Барнаулке 17–18 июля 2018 г.

В течение 17 и 18 июля 2018 г. был выполнен комплекс полевых работ по р. Барнаулке на вышеперечисленных створах, который включал в себя: отбор гидрохимических проб, а также определение расходов воды. Кроме того, отбор проб и измерение расхода воды проводилось также на приустьевом участке реки Пивоварки. Хотя наблюдения (отборы проб и измерения расходов воды) в разных пунктах осуществлялись не синхронно, они были выполнены в достаточно короткий интервал времени – 28 часов. Следует отметить, что как в ходе выполнения работ, так и, по крайней мере, за трое суток до их начала, осадков в бассейне р. Барнаулка не выпадало.

В пунктах 05 – 07 и 09 гидрохимические пробы отбирались с левого берега реки, а в пунктах 08 и 10 – из центра русла с пешеходных мостиков. Кроме того, в пункте 08, в створе мостика, были отобрано две дополнительные пробы у обоих берегов реки. Проба в реке Пивоварке также отбиралась в центре ее русла (вброд). Данные экспериментальных исследований представлены в таблице.

Гидрохимический состав и расходы воды
в р. Барнаулке и р. Пивоварке (ПВ), измеренные 17-18 июля 2018 г.

| Река | Пункт измерений | NO_2^- , мг/л | NO_3^- , мг/л | NH_4^- , мг/л | Расход воды, м ³ /с |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|
| Барнаулка | 5 | 0.002 | 0.70 | 1.5 | – |
| Барнаулка | 6 | 0.041 | 0.54 | 1.1 | – |
| Барнаулка | 7 | 0.047 | 0.94 | 0.82 | 6.39 |
| Барнаулка | 8л (лев. берег) | 0.31 | 1.9 | 0.78 | – |
| Барнаулка | 8ц (середина) | 0.22 | 1.3 | 1.0 | 6.52 |
| Барнаулка | 8п (пр. берег) | 0.033 | 0.95 | 0.88 | – |
| Барнаулка | 9 | 0.088 | 1.4 | 1.3 | – |
| Барнаулка | 10 | 0.32 | 2.6 | 1.4 | 6.76 |
| Пивоварка | 11 | 2.6 | 41 | 4.6 | 0.13 |

Результаты и обсуждения

Анализ таблицы показывает, что концентрации нитрат и нитрит ионов в воде р. Барнаулки в летний период, в целом, последовательно увеличиваются по мере продвижения к устью. Это может свидетельствовать о преимущественном поступлении этих ионных компонентов с площади водосборного бассейна реки.

Примеси, поступающие с водами р. Пивоварки, высококонцентрированные (т. 11). Процесс их последовательного разбавления (рис. 2) от левого берега к правому берегу р. Барнаулки подтверждается измерениями на створе 8 (точки 8л, 8ц, 8п).

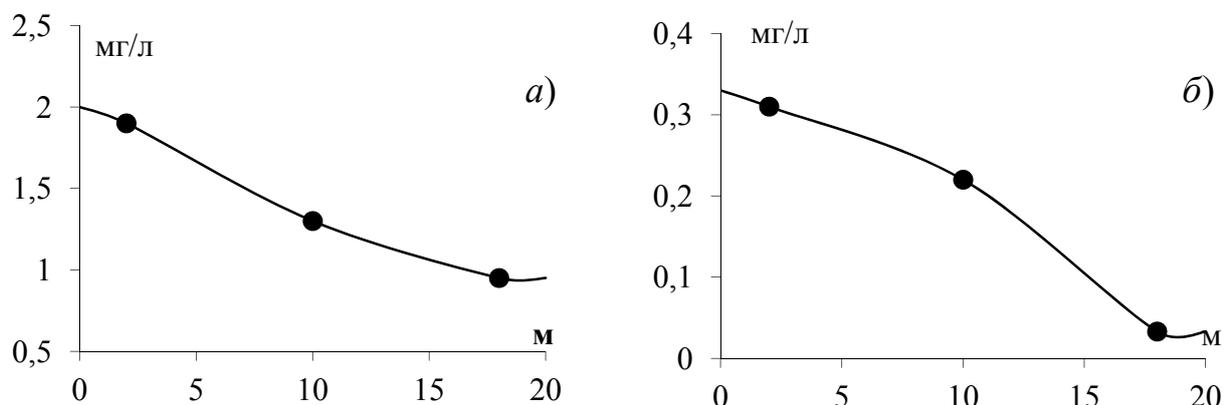


Рис. 2. Изменения концентрации нитратов и нитритов в поперечном сечении р. Барнаулка (створ 8)

Данные измерений по нитратам и нитритам ведут себя вполне согласовано в точках 8л и 8ц. Отношения их концентраций в этих точках составляют 6.13 и 5.91 соответственно.

Более детальный анализ результата разбавления после впадения р. Пивоварки в р. Барнаулку можно провести с использованием следующего соотношения баланса массы примесей [13]

$$(V_B + V_{II}) \cdot q_{\text{сумм}} = V_B \cdot q_B + V_{II} \cdot q_{II} \quad (1)$$

где V_B и q_B – расход воды и концентрация примеси в точке 7 в р. Барнаулке, V_{II} и q_{II} – расход воды и концентрация примеси в точке 11 в р. Пивоварке, $q_{\text{сумм}}$ – суммарная концентрация примеси в точке 9.

Тогда из соотношения (1) следует, что

$$q_{\text{сумм}} = \frac{V_B \cdot q_B + V_{II} \cdot q_{II}}{V_B + V_{II}} = q_B \frac{V_B}{V_B + V_{II}} + q_{II} \frac{V_{II}}{V_B + V_{II}}. \quad (2)$$

Учитывая, что $\frac{V_B}{V_B + V_{II}} \approx 1$, получим соотношение для оценивания коэффициента разбавления

$$K \equiv \frac{V_{II}}{V_B + V_{II}} \approx \frac{q_{\text{сумм}} - q_B}{q_{II}}. \quad (3)$$

Используя соотношение (3) и данные табл. 1, получим следующие оценки коэффициентов разбавления для нитритов, нитратов и аммония:

$$K_{NO_2^-} = 0.0158, \quad K_{NO_3^-} = 0.0112, \quad K_{NH_4^+} = 0.104.$$

С другой стороны, коэффициент разбавления в точке 9, рассчитанный непосредственно по расходам воды в реках Барнаулка и Пивоварка, составляет 0.0196 и достаточно близок к значениям соответствующих коэффициентов для нитритов и нитратов. Что касается аммония, то расхождения в полученных коэффициентах разбавления более существенные и требуются дополнительные исследования.

Рассматривая отношения измеренных концентраций нитратов и нитритов в устье р. Пивоварки и в точке 9, достаточно удалённой от её устья (рис. 1), получим

$$\frac{q_{NO_2^-}(\text{т.11})}{q_{NO_2^-}(\text{т.9})} = 29.55, \quad \frac{q_{NO_3^-}(\text{т.11})}{q_{NO_3^-}(\text{т.9})} = 29.29. \quad (4)$$

Высокий уровень согласия в отношениях (4) указывает на отсутствие на этом участке р. Барнаулки значимых источников нитратов и нитритов. На участке реки между точками 9 и 10 происходит заметный рост этих компонентов, который обусловлен дополнительным их поступлением с территории г. Барнаула.

Заключение

Выполнен численный анализ экспедиционных и химико-аналитических исследований для различных пилотных участков малых рек, подверженных воздействию диффузного загрязнения с урбанизированной территории (территории г. Барнаула). Установлены количественные связи между концентрациями нитратов и нитритов в нижнем течении р. Барнаулки.

Полученные результаты могут быть использованы для построения компьютерных моделей качества воды и определения диффузного загрязнения поверхностных вод с целью разработки методов оценки диффузного стока с урбанизированных территорий путем решения обратных задач.

Благодарности

В статье использованы материалы и методы, полученные при работе над проектом «Разработка методов оценки диффузного стока с урбанизированных территорий путем решения обратных задач моделирования качества воды» (Федеральный проект «Оздоровление Волги»).

Комплекс полевых работ выполнен научными сотрудниками ИВЭП СО РАН К. В. Марусиным и А. В. Дьяченко. Химический анализ проб воды проведен в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН (начальник центра – д.х.н. Т. С. Папина).

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004) и подготовлена при поддержке программы президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» (№ 0315-2018-0016), а также в рамках Госзадания по проекту «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов» (0383-2016-0002, 0383-2019-0003), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Математические модели контроля загрязнения воды: монография. – М. : Мир, 1981. – 472 с.
2. Вода России. Речные бассейны: монография. – М. : ФГУП, 2002. – 572 с.
3. Ambrose R. D., Wool T. A., Martin J. L., Connolly J. P., Schanz R. W. WASP5.X A Hydrodynamic and water quality model. – Athens : EPA, 1991. – 349 p.
4. Михайлов С. А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: аналитический обзор. – Барнаул : День, 2000. – 130 с.

5. Мотовилов Ю. Г., Фащевская Т. Б. Пространственно распределенная модель формирования стока тяжелых металлов в речном бассейне // *Вода: химия и экология*. – 2018. – № 1 – 3. – С. 18–31.
6. Коронкевич Н. И., Долгов С. В. Сток с водосбора как источник диффузного загрязнения рек // *Вода и экология: проблемы и решения*. – 2017. – № 4 (72). – С. 103–110.
7. Борзилов В. А., Седунов Ю. С., Новицкий М. А. Прогнозирование вторичного радиоактивного загрязнения рек тридцатикилометровой зоны Чернобыльской АЭС // *Метеорология и гидрология*. – 1989. – № 2. – С. 5-13.
8. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод: методическое пособие. / Под ред. А. В. Караушева. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 176 с.
9. Дрюпина Е. Ю., Эйрих А. Н., Эйрих С. С., Папина Т. С. Влияние крупных городов на качество речных вод (на примере р. Обь в районе г. Барнаула) // *Вода: химия и экология*. – 2014. – № 7. – С. 3–9.
10. *Handbook of Hydrology*. / Ed. D. R. Maidment. – New York : Mc GrowHill, 1992. – 518 p.
11. Лепихин А. П., Возняк А. А., Тиунов А. А., Богомолов А. В. К проблеме корректности методов расчетов и задания исходной гидрологической и гидрохимической информации при регламентации техногенных воздействий на водные объекты // *Водное хозяйство России*. – 2017. – № 1. – С. 58–77.
12. Семчуков А. Н., Квон В. И. Определение интенсивности сброса загрязняющих веществ в реку по данным наблюдений в расположенном ниже створе // *Метеорология и гидрология*. – 1999. – № 7. – С. 84–91.
13. Семчуков А. Н., Квон В. И. Численное решение одной обратной задачи о качестве воды в реках // *Сибирский журнал индустриальной математики*. – 1999. – Т. 2, № 1. – С. 151–163.
14. Сухоруков Ф. В., Дегерменджи А. Г., Белолипецкий В. М. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине р. Енисей: монография / Под ред. В. Ф. Шабанова, А. Г. Дегерменджи. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2004. – 286 с.
15. Гордин И. В., Винницкая И. П., Кирпичникова Н. В. Идентификация неконтролируемых залповых поступлений сточных вод в нестационарном потоке // *Химия и технология воды*. – 1990. – Т. 12. – № 11. – С. 967-973.
16. Пряжинская В. Г. Современные методы управления качеством речных вод урбанизированных территорий // *Водные ресурсы*. – 1996. – Т. 23. – № 2. – С. 168–176.
17. Река Барнаулка: экология. Флора и фауна бассейна: монография / Под ред. М. М. Силантьевой. – Барнаул : АГУ, 2000. – 224 с.
18. Темерев С. В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна Оби: монография. – Барнаул : Алтайский госуниверситет, 2006. – 336 с.
19. Темерев С. В., Галахов В. П., Плотникова Ю. Е. Формирование и распределением химического стока реки Барнаулки // *Известия Алтайского государственного университета*. – 2001. – №3 (21). – С. 32–37.
20. Долматова Л. А., Егорова Л. С., Михайленко М. А. Летучие фенолы в объектах экосистемы р. Барнаулка // *Известия АлтГУ*. – 2004. – № 3. – С. 10-14.
21. Горгуленко В. В. Пространственная неоднородность и сезонная динамика токсичности воды р. Обь в окрестностях г. Барнаула // *Вода: химия и экология*. – 2012. – № 11 (53). – С. 16-21.
22. Ротанова И. Н., Пупкова В. В. Малые реки городской территории как природоохранные объекты урбанизированной среды (опыт исследований на примере Барнаула) // *География и природопользование Сибири*. – 2013. – № 15. – С. 171–181.
23. Шилькрот Г. С., Ясинский С. В. Пространственно-временная изменчивость потока биогенных элементов и качества воды малой реки // *Водные ресурсы*. – 2002. – Т. 29. – № 3. – С. 343–349.

© В. Ф. Рапута, А. Т. Зиновьев, О. В. Ловцкая, 2019