

Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты в городской черте

© 2021. Т. В. Носкова¹, к. т. н., м. н. с.,
М. С. Панина¹, ведущий инженер, аспирант,
О. М. Лабузова¹, аспирант,
Т. С. Папина¹, д. х. н., начальник химико-аналитического центра,
Е. Г. Ильина², к. х. н., доцент,

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН,
656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодёжная, д. 1,

²Алтайский государственный университет,
656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 69,
e-mail: ntv@iwep.ru

На основании результатов флуориметрического анализа атмосферных осадков и с учётом среднегодового расхода воды рассчитана антропогенная нагрузка на природные водотоки в черте г. Барнаула (реки Обь и Барнаулка) по органическим показателям (летучие фенолы, нефтепродукты, формальдегид). Показано, что значимую антропогенную нагрузку по исследуемым веществам полноводная р. Обь в районе г. Барнаула не испытывает, и её воды способны разбавить концентрацию поступающих с городской территории изучаемых загрязняющих веществ до значений рыбохозяйственного норматива. Напротив, данные расчёта свидетельствуют, что поверхностный сток с территории г. Барнаула является существенным источником загрязнения р. Барнаулка летучими фенолами и нефтепродуктами. Особенно велик риск загрязнения р. Барнаулка фенольными соединениями, в то время как поступление формальдегида с поверхностным стоком с городской территории не вызывает опасений.

Ключевые слова: атмосферные осадки, водный объект, антропогенная нагрузка, формальдегид, летучие фенолы, нефтепродукты.

Evaluation of anthropogenic load on water bodies within the city limits

© 2021. T. V. Noskova¹ ORCID: 0000-0003-4960-8466, M. S. Panina¹ ORCID: 0000-0003-3379-7258,
O. M. Labuzova¹ ORCID: 0000-0002-5436-7479, T. S. Papina¹ ORCID: 0000-0002-8388-7289,
E. G. Ilina² ORCID: 0000-0001-6686-6665

¹Institute for Water and Environmental Problems
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
1, Molodezhnaya St., Barnaul, Russia, 656038,

²Altai State University,
61, Lenina Avenue, Barnaul, Russia, 656049,
e-mail: ntv@iwep.ru

The fluorimetric analysis of the content of formaldehyde, volatile phenols and oil has been performed in the samples of atmospheric precipitation. Atmospheric precipitation (rain and snow) were collected in Barnaul from October 2013 until September 2018. The average concentration of oil in atmospheric precipitation was 0.07 ppm, volatile phenols – 0.006 ppm and formaldehyde – 0.1 ppm. A seasonal increase of the oil concentration was revealed in the cold period of the year. For formaldehyde a seasonal increase of the concentration has been revealed in the warm period of the year. Volatile phenols are characterized by a constant emission into the atmosphere of the Barnaul regardless of the time of year. The anthropogenic load of the formaldehyde, volatile phenols and oil on surface waters within the boundaries of the city of Barnaul was calculated taking into account average rivers' discharge. Full-flowing the Ob River does not experience significant anthropogenic load within the boundaries of the city of Barnaul, as regards of the studied pollutants. Its waters are able to dilute the concentration of incoming studied organic pollutants from urban stormwater runoff to before MAC. For the Barnaulka River, the stormwater runoff within the boundaries of the city of Barnaul is a serious source of pollution with oil and volatile phenols. Phenolic compounds pose especially high risk of pollution of the Barnaulka River. Contamination of the Barnaulka River with formaldehyde is not observed. For the improvement current unfavorable environmental situation, it will be necessary to construct the urban treatment plants.

Keywords: atmospheric deposition, water body, anthropogenic load, formaldehyde, volatile phenols, oil.

Одной из наиболее значимых экологических проблем современного мира является загрязнение поверхностных вод [1, 2], качество которых формируется на водосборных территориях под действием как природных, так и антропогенных факторов. Увеличение численности населения и рост промышленного производства приводит к повышению концентрации поллютантов в окружающей среде [3]. Одними из приоритетных загрязнителей, связанных с хозяйственной деятельностью человека, являются формальдегид, фенолы и нефтепродукты [4, 5]. В природные водотоки загрязняющие вещества (ЗВ) в основном попадают со сбросами сточных вод и атмосферными осадками, поступающими в водные объекты непосредственно либо диффузным путём [6, 7]. В гидрохимическом балансе речного стока и формировании химического состава поверхностных вод атмосферные осадки играют очень важную роль [8, 9], но в качестве источника загрязнения их сложно учитывать и контролировать. Тем не менее, оценка их влияния необходима для точного анализа, прогноза и регулирования качества поверхностных вод.

Цель работы: изучение содержания и сезонного распределения органических веществ (формальдегида, нефтепродуктов и летучих фенолов) в атмосферных осадках г. Барнаула для оценки степени антропогенной нагрузки на поверхностные воды в городской черте.

Объекты и методы исследования

Атмосферные осадки отбирали по возможности сразу после их выпадения (но не позже, чем спустя сутки) в период с октября 2013 г. по сентябрь 2018 г. в центре г. Барнаула на открытой площадке крыши здания Института водных и экологических проблем СО РАН. Жидкие осадки (дождевую воду) отбирали в стеклянные ёмкости вместимостью 1 дм³ со вставленными в них стеклянными воронками, твёрдые осадки (снег) – в пластиковые контейнеры. Таяние снега проводили при комнатной температуре. За период исследования было отобрано и проанализировано 156 проб атмосферных осадков. Пробоподготовку и определение концентрации формальдегида, нефтепродуктов и летучих фенолов осуществляли согласно действующим аттестованным методикам флуориметрического анализа на приборе «Флюорат 02-ЗМ». Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Microsoft Excel. Стандартное отклонение и доверительный интервал

для среднегодовых значений исследуемых ЗВ рассчитывали при $P \geq 0,95$. Средневзвешенные за годовой период концентрации нефтепродуктов, летучих фенолов и формальдегида вычисляли по формуле:

$$C_g = \frac{\sum C_i \cdot V_i}{V_g}, \quad (1)$$

где C_g – средневзвешенная концентрация ЗВ за исследуемый гидрологический год, мг/дм³; C_i – концентрация ЗВ в единичной пробе атмосферных осадков, мг/дм³; V_i – объём единичной пробы атмосферных осадков, дм³; V_g – общий объём осадков за исследуемый гидрологический год, дм³.

Результаты и обсуждение

На рисунке представлена динамика содержания исследуемых органических веществ в атмосферных осадках г. Барнаула за гидрологические годы: нефтепродукты с 01.10.13 по 30.09.18; формальдегид с 01.10.14 по 30.09.18; летучие фенолы с 01.10.13 по 30.09.17. На графиках приведены средневзвешенные значения концентраций ЗВ, учитывающие вклад каждого единичного события в содержание определяемых показателей в объединённой годовой пробе со своим статистическим весом.

Концентрации определяемых органических соединений в атмосферных осадках в течение исследуемого периода в пределах погрешности инструментального метода практически не изменяются. Это свидетельствует о стабильном потоке этих ЗВ в городскую атмосферу, что позволяет проводить долгосрочные, многолетние прогнозы антропогенной нагрузки на природные водотоки в черте г. Барнаул. Исключение составляют содержание в гидрологические годы соответствующих календарным 01.10.14–30.09.15 – нефтепродуктов и 01.10.17–30.09.18 – формальдегида, в которых наблюдается значительное снижение концентрации этих соединений.

По данным результатов анализа индивидуальных проб атмосферных осадков были рассчитаны средние и медианные значения, определены минимальная и максимальная концентрации исследуемых ЗВ для тёплого (апрель–сентябрь) и холодного (октябрь–март) периодов года, а также стандартное отклонение и доверительный интервал при доверительной вероятности $P \geq 0,95$. При расчёте средних значений из выборки данных

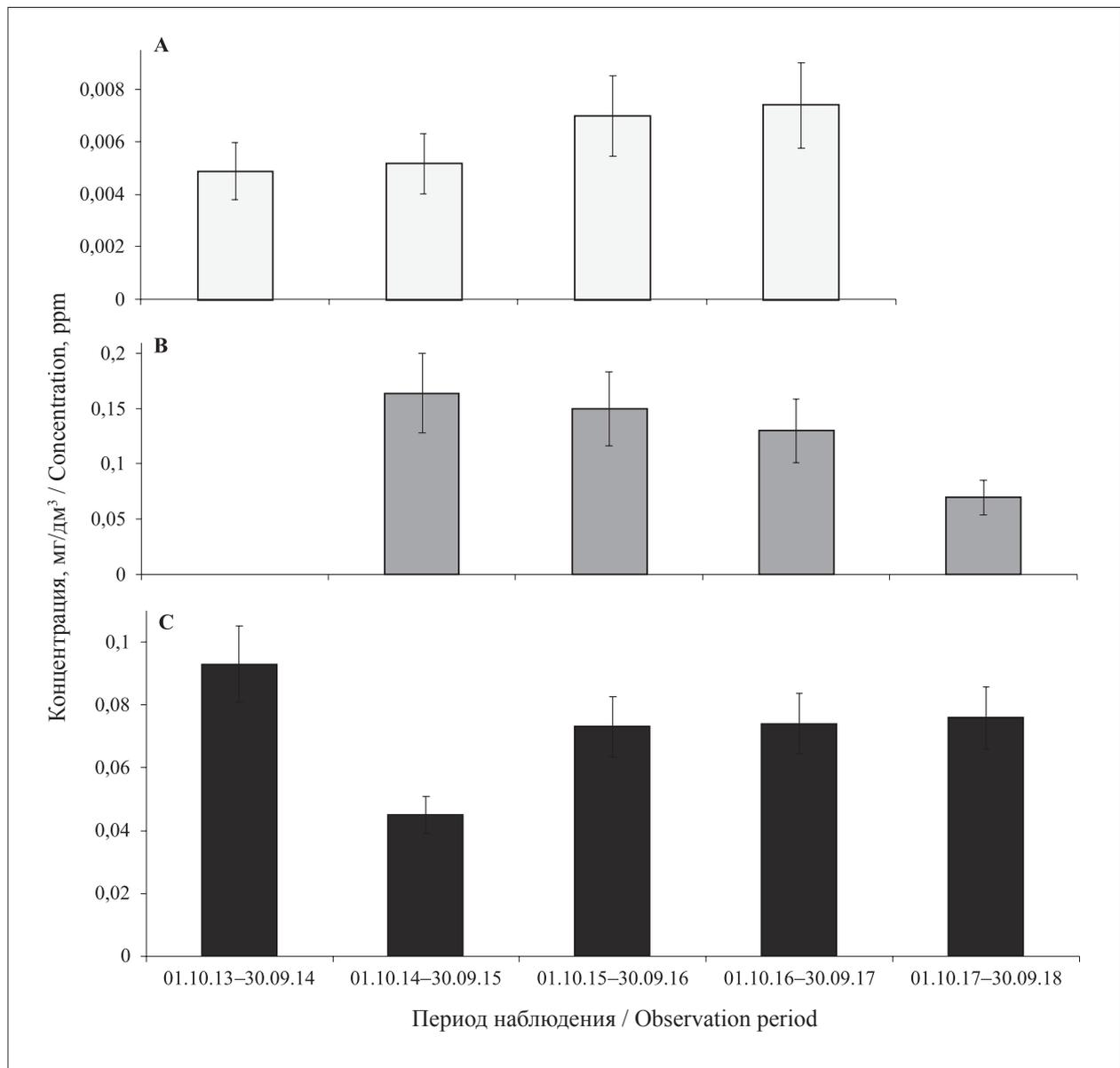


Рис. Динамика содержания летучих фенолов (А), формальдегида (В), нефтепродуктов (С) в пробах атмосферных осадков г. Барнаула в разные гидрологические годы
Fig. The dynamics of the concentration of volatile phenols (A), formaldehyde (B), oil (C) in samples of atmospheric precipitation in Barnaul in different hydrological years

Таблица 1 / Table 1

Концентрация загрязняющих веществ в атмосферных осадках г. Барнаула в тёплый и холодный периоды (2013–2018 гг.) / The concentration of pollutants in atmospheric precipitation in Barnaul during warm and cold periods (2013–2018)

Концентрация, мг/дм³ Concentration, ppm	Периоды / Periods							
	тёплый / warm				холодный / cold			
	min	max	средняя average	медиана median	min	max	средняя average	медиана median
Нефтепродукты Oil	0,01	0,11	0,045± 0,007	0,036	0,01	0,22	0,10± 0,01	0,09
Летучие фенолы Volatile phenols	0,002	0,012	0,006± 0,001	0,006	0,001	0,013	0,006± 0,002	0,007
Формальдегид Formaldehyde	0,03	0,25	0,14± 0,02	0,15	0,02	0,13	0,06± 0,02	0,08

Таблица 2 / Table 2

Средневзвешенная концентрация загрязняющих веществ в атмосферных осадках г. Барнаула, норматив для водных объектов рыбохозяйственного назначения и коэффициент антропогенной нагрузки на реки Обь и Барнаулка / Weighted average concentration of a pollutant in atmospheric precipitation in Barnaul, standard for water bodies for fishery purposes and coefficient of anthropogenic load on the Ob and Barnaulka rivers

Показатель Indicator	C _{ср.} , мг/дм ³ Average, ppm	ПДК _{р.х.} , мг/дм ³ MAC, ppm	Коэффициент антропогенной нагрузки Anthropogenic load factor	
			р. Обь the Ob River	р. Барнаулка the Barnaulka River
Нефтепродукты Oil	0,07	0,05	0,003	1,1
Летучие фенолы Volatile phenols	0,006	0,001	0,01	4,6
Формальдегид Formaldehyde	0,1	0,1	0,002	0,8

исключали пробы, значения концентрации в которых превышали величину, равную $C_{ср.} + 2y$ (где $C_{ср.}$ – средняя концентрация определяемого показателя, y – стандартное отклонение), а затем вновь рассчитывали значения для укороченной выборки данных. Результаты представлены в таблице 1.

Из представленных данных (табл. 1) следует, что наиболее высокие концентрации формальдегида соответствуют тёплому периоду года. Это можно объяснить тем, что в данное время происходит активизация фотохимических процессов, приводящих к дополнительному образованию формальдегида в атмосфере из других углеводородных соединений [10, 11]. Максимально высокие концентрации нефтепродуктов наблюдаются в течение холодного периода, что может быть связано с началом отопительного сезона, а также с более эффективной способностью снежных хлопьев удалять из атмосферы различные примеси за счёт большей площади поверхности и высокой пористости [12]. Содержание летучих фенолов в атмосферных осадках не подвержено сезонным изменениям.

Для оценки загрязняющего влияния ливневого стока дождевых и талых вод с городской территории на водные объекты (реки Обь и Барнаулка) в районе г. Барнаула использовали универсальный коэффициент антропогенной нагрузки (K'), за который принимается нормированная нагрузка отдельными ЗВ, приведённая к предельно допустимой концентрации (ПДК) этих веществ [13]. Данный коэффициент рассчитывали по формуле:

$$K' = \frac{C \cdot W}{Q \cdot ПДК}, \quad (2)$$

где C – концентрация ЗВ в атмосферных осадках, г/м³; Q – среднегодовой водный

сток реки, м³; ПДК – предельно допустимая концентрация ЗВ для водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{р.х.}), к которым относится р. Обь и её притоки в черте г. Барнаула, и, в частности, р. Барнаулка, г/м³; W – среднегодовой объём поверхностного стока, м³.

Для вычисления среднегодового объёма поверхностного стока были использованы рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий [14]. Среднегодовой объём поверхностного стока (W) – сумма среднегодового стока дождевых (W_d , м³) и талых (W_t , м³) вод, которые рассчитывали по следующим формулам:

$$W_t = 10 \cdot H_t \cdot \Psi_t \cdot F, \quad (3)$$

$$W_d = 10 \cdot H_d \cdot \Psi_d \cdot F, \quad (4)$$

где 10 – переводной коэффициент; F – общая площадь стока, га (площадь г. Барнаула, равняется 32200 га); H_d и H_t – количество осадков за тёплый и холодный период года соответственно, мм; Ψ_t и Ψ_d – общие коэффициенты стока талых и дождевых вод, равные 0,6 и 0,7 [14].

В таблице 2 представлены данные расчёта антропогенной нагрузки на поверхностные воды рек Обь и Барнаулка в черте г. Барнаула. При коэффициенте антропогенной нагрузки $K' < 1$ водоток в состоянии разбавить поступающее ЗВ и уменьшить его концентрацию до значений ниже ПДК_{р.х.}, при $K' > 1$ на водоток будет оказываться повышенная антропогенная нагрузка, что может негативно повлиять на экологическое состояние водного объекта.

Как следует из таблицы 2, средневзвешенная за исследуемый период концентрация ЗВ

в атмосферных осадках сопоставима, либо превышает нормативы, принятые для поверхностных вод в городской черте. Тем не менее, поверхностный сток с территории г. Барнаула не несёт ощутимой угрозы загрязнения р. Обь нефтепродуктами, формальдегидом и летучими фенолами. Коэффициент антропогенной нагрузки по исследуемым веществам значительно ниже единицы. Вследствие своей полноводности и хорошей разбавляющей способности р. Обь справляется с загрязнением, поступающим с ливневым стоком с территории г. Барнаула. Однако существенную антропогенную нагрузку испытывает малая по расходу воды р. Барнаулка, что также подтверждается данными многих гидрохимических и гидробиологических исследований [15–19]. Особенно велик риск загрязнения нефтепродуктами и фенолами, которые долгие годы являются наиболее распространёнными и опасными ЗВ поверхностных вод реки [20].

Принимая во внимание сезонное изменение концентрации ЗВ и учитывая, что основное питание сибирских рек составляют талые воды, очевидно, что в период снеготаяния с городской территории в р. Барнаулка поступают максимально высокие концентрации нефтепродуктов и фенолов, аккумулированных в снежном покрове в течение холодного периода года. Загрязнение р. Барнаулка формальдегидом не вызывает опасений, к тому же наблюдается тенденция уменьшения его содержания в городских атмосферных осадках (рис.), формирующих поверхностный сток с территории г. Барнаула.

Заключение

Для нефтепродуктов и формальдегида отмечено сезонное изменение концентрации в атмосферных осадках. Постоянная эмиссия летучих фенолов в воздушную среду г. Барнаула наблюдается в течение всего года. Вследствие того, что основное питание рек континентального климата составляют талые воды, более высокую степень загрязнения водных объектов следует ожидать в период снеготаяния.

Однако, в районе г. Барнаула р. Обь не испытывает значимой антропогенной нагрузки ($K' < 1$) по содержанию нефтепродуктов, летучих фенолов и формальдегида. Её воды способны разбавить высокие концентрации данных ЗВ, поступающих с городской территории до значений рыбохозяйственного норматива.

Для р. Барнаулка коэффициент антропогенной нагрузки, как для нефтепродуктов, так и для летучих фенолов выше единицы, что свидетельствует о загрязнении реки этими веществами в черте г. Барнаула. Особенно велик риск загрязнения реки фенольными соединениями. Для устранения сложившейся неблагоприятной экологической ситуации необходимо строительство городской сети ливневой канализации и очистных сооружений, эффективно справляющихся с очисткой дождевых и талых вод от высоких концентраций нефтепродуктов и фенолов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН.

References

1. Chaudhry F.N., Malik M.F. Factors affecting water pollution: a review // *J. Ecosyst Ecography*. 2017. V. 7. No. 1. P. 1–3. doi: 10.4172/2157-7625.1000225
2. Kramer K.J. M., Sleeuwaert F., Engelen G., Muller C., Brack W., Posthuma L. The RiBaTox web tool: selecting methods to assess and manage the diverse problem of chemical pollution in surface waters // *Environmental Sciences Europe*. 2019. V. 31. No. 68. P. 1–5. doi: 10.1186/s12302-019-0244-7
3. Bunke D., Moritz S., Brack W., Herraes D.L., Posthuma L., Nuss M. Developments in society and implications for emerging pollutants in the aquatic environment // *Environmental Sciences Europe*. 2019. V. 31. No. 32. P. 1–17. doi: 10.1186/s12302-019-0213-1
4. Bezuglaya E.Y., Ivleva T.P., Smirnova I.V. Fifty years to the air pollution observations // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2013. V. 38. No. 9. P. 645–652. doi: 10.3103/S1068373913090082
5. Tyrkov A.G., Velikorodov A.V., Serebryakov O.I., Nosachev S.B., Kovalev V.B. The environmental evaluation of the content of petroleum products, phenols and heavy metals in water and soil of the Caspian Sea region // *Geologiya. Geografiya i global'naya ehnergiya*. 2018. No. 1 (68). P. 28–34 (in Russian).
6. Zhi X., Chen L., Shen Z. Impacts of urbanization on regional nonpoint source pollution: case study for Beijing, China // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V. 25. No. 10. P. 9849–9860. doi: 10.1007/s11356-017-1153-1
7. Kumari M., Tripathi B.D. Source apportionment of wastewater pollutants using multivariate analyses // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2014. V. 93. P. 19–24. doi: 10.1007/s00128-014-1242-5
8. Biniak-Pierog M., Zielinska A., Zyromski A., Swider K. Precipitation structure as an indicator of reduction of water amount supplying soil profile // *J. of Hydrology*.

2020. V. 583. Article No. 124574. P. 1–45. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124574

9. Pershina N.A. Background component of precipitation // *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova*. 2013. No. 569. P. 224–232 (in Russian).

10. Selegej T.S., Filonenko N.N., Shlychikov V.A., Lezhenin A.A., Lenkovskaya T.N. Formaldehyde pollution of the urban atmosphere as a function of certain meteorological factors // *Optika atmosfery i okeana*. 2013. No. 5. P. 422–426 (in Russian).

11. de Blas M., Ibanez P., Garcia J.A., Gómez M.C., Navazo M., Alonso L., Durana N., Iza J., Gangoiti G., de Camara E.S. Summertime high resolution variability of atmospheric formaldehyde and non-methane volatile organic compounds in a rural background area // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 647. P. 862–877. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.411

12. Paramonov M., Gronholm T., Virkkula A. Below cloud scavenging of aerosol particles by snow at an urban site in Finland // *Boreal Environment Research*. 2011. V. 16. No. 4. P. 304–320.

13. Kurochkina V.A., Bogomolova T.G., Kirov B.L. Anthropogenic load on rivers of urban areas // *Vestnik MGSU*. 2016. No. 8. P. 100–109 (in Russian).

14. Recommendations for the calculation of systems of collection, removal and treatment of surface runoff from residential areas, sites of enterprises and determining the

conditions for its release into water bodies. Moskva: NII VODGEO, 2014. 88 p. (in Russian).

15. Noskova T.V., Leites E.A., Labuzova O.M. The content of oil in samples of surface water and bottom sediments of the rivers Ob and Barnaulka // *Voda: himiya i ehkologiya*. 2018. No. 10–12 (117). P. 30–35 (in Russian).

16. Bezmaternykh D.M. Effect of anthropogenic pollution on macrozoobenthos structure in Barnaulka River (Upper Ob Basin) // *Water Resources*. 2018. V. 45. No. 1. P. 89–97. doi: 10.1134/S0097807818010062

17. Leytes E.A., Tylyanova J.A. Determination of indices of a chemical composition of water in Basin of Upper Ob and the River Aley // *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. No. 3–2 (79). P. 190–194 (in Russian).

18. Dolmatova L.A., Guseva M.A. Seasonal variability of organic matter in water and bottom sediments of Barnaulka river // *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005. No. 3 (38). P. 17–20 (in Russian).

19. The River Barnaulka: ecology, flora and fauna of the water-collecting area / Ed. M.M. Silant'eva. Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy universitet, 2000. 224 p. (in Russian).

20. Dolmatova L.A., Egorova L.S., Mihajlenko M.A. Volatile phenols in the objects of Barnaulka river ecosystem // *Izvestiya of Altay State University*. 2004. No. 3. P. 10–14 (in Russian).