

*Н. И. Яндол*<sup>1</sup>✉

## **Мышьяк в природных водах восточной части Новосибирской области**

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им А. А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: YandolaNI@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** Проблема загрязнения подземных вод мышьяком является общемировой. Его неорганическая форма является крайне токсичной и может привести к серьезным негативным последствиям для здоровья населения. Работа посвящена исследованию распределения мышьяка в природных водах правобережья р. Оби и оценке рисков употребления этих вод в качестве питьевых. Лабораторные исследования проводились методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ. Оценка риска для здоровья населения определялась с помощью коэффициентов рисков развития неканцерогенных (HQ) и канцерогенных эффектов (CR). Концентрации мышьяка в природных водах правого берега реки Оби изменяются в диапазоне от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $0,27$  мг/дм<sup>3</sup> со средним значением  $0,08$  мг/дм<sup>3</sup>. В 45% проб обнаружено превышение ПДК. Рассчитанные значения коэффициента опасности для перорального воздействия (HQ) изменяются от  $0,0011$  до  $18,12$  для женщин и от  $0,001$  до  $15$  для мужчин. Значения коэффициента выше 1 зафиксированы в 67 (14%) из 482 проб. Длительное употребление этих вод приводит к развитию заболеваний кожи, иммунной, сердечно-сосудистой, эндокринной, центральной нервной систем и желудочно-кишечного тракта. Значения коэффициента канцерогенного риска (CR) составляют от  $3,5 \cdot 10^{-7}$  до  $6 \cdot 10^{-3}$  для женщин и от  $2,9 \cdot 10^{-7}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  для мужчин. В 21 пробе значения превышают  $10^{-3}$ , в 297 пробах значение коэффициента превышает  $10^{-7}$ , что свидетельствует о значительных рисках для здоровья и возможном развитии онкологических заболеваний. Результаты выполненных исследований подчеркивают острую необходимость принятия управленческих решений на государственном уровне по снижению загрязнения мышьяком водных ресурсов региона.

**Ключевые слова:** гидрогеохимия, мышьяк, канцерогенный риск, коэффициент опасности, онкологические заболевания, Новосибирская область

*N. I. Yandola*<sup>1</sup>✉

## **Arsenic in natural waters of the eastern part of the Novosibirsk Region**

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,  
Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: YandolaNI@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** The issue of arsenic contamination in groundwater is a global concern. Its inorganic form is highly toxic and can lead to severe adverse health effects for populations. This study investigates the distribution of arsenic concentrations in natural waters on the right bank of the Ob River and evaluates the risks associated with using these waters for drinking purposes. Laboratory analyses were conducted using titration, ion chromatography, and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) at the Water Chemistry Laboratory of the Engineering School for Natural Resources

at the Tomsk National Research Polytechnic University. Health risks were assessed using hazard quotients (HQ) for non-carcinogenic effects and cancer risk coefficients (CR) for carcinogenic effects. Arsenic concentrations in natural waters of the Ob River's right bank ranged from  $2 \cdot 10^{-5}$  to 0.27 mg/L, with an average of 0.08 mg/L. Exceedances of the maximum permissible concentration (MPC) were detected in 45% samples. Calculated oral hazard quotients (HQ) ranged from 0.0011 to 18.12 for women and 0.001 to 15 for men. HQ values above 1, indicating significant risk, were recorded in 67 (14%) out of 482 samples. Long-term consumption of these waters may lead to diseases of the skin, immune, cardiovascular, endocrine, central nervous systems, and gastrointestinal tract. Cancer risk coefficients (CR) ranged from  $3.5 \cdot 10^{-7}$  to  $6 \cdot 10^{-3}$  for women and  $2.9 \cdot 10^{-7}$  to  $5 \cdot 10^{-3}$  for men. CR values exceeded  $10^{-3}$  in 21 samples and  $10^{-7}$  in 297 samples, highlighting substantial health risks and potential cancer development. The findings underscore the urgent need for state-level interventions to reduce arsenic contamination.

**Keywords:** groundwater, arsenic, cancer risk, hazard quotient, oncological diseases, Novosibirsk region

### *Введение*

По данным ВОЗ, как минимум 140 миллионов человек в 70 странах мира употребляют воду, содержащую мышьяк в концентрациях, превышающих предельно допустимую (10 мкг/л), и Россия не является исключением [1-3]. Его природная неорганическая форма высокотоксична, она является естественным загрязнителем окружающей среды и концентрируется в подземных водах. Это связано с процессами взаимодействия в системе «вода-порода» и благоприятными физическими и геохимическими условиями водоносных горизонтов для его аккумуляции [4]. Настоящая работа опирается на уже накопленный в ходе предыдущих исследований опыт по изучению взаимодействия вод и вмещающих горных пород [5-9].

Регулярное употребление воды, содержащей мышьяк, увеличивает вероятность развития сердечно-сосудистых, неврологических и репродуктивных нарушений [10-11], сахарного диабета [12], поражений печени, легких, кровеносной системы, а также онкологических заболеваний [10-11].

Территория исследований включает восточную часть Новосибирской области. В нее входит сам город Новосибирск, а также Новосибирский, Искитимский, Черепановский, Маслянинский, Сузунский, Болотнинский и Мошковский районы. В геологическом строении региона принимают участие отложения палеогена и неогена, которые перекрывают различные по составу и генезису породы складчатого фундамента раннедевонско-раннетриасового возраста. Также, широкое распространение имеют гранитоиды Приобского и Барлакского комплекса, прорывающие дислоцированные вулканогенно-осадочные толщи. В ландшафтном отношении – это возвышенность Сокур, Буготакские сопки и При-салаирская предгорная равнина.

### *Методы и материалы*

Материалами для настоящего исследования послужили результаты химико-аналитических исследований 482 проб вод из скважин, источников и колодцев, которые используются местными жителями в питьевых целях. Пробы были отобраны в ходе экспедиционных работ 2022-2024 гг. Непосредственно

на объектах было выполнено определение pH, Eh, температуры, содержания растворенного O<sub>2</sub>, с помощью оборудования (мультипараметровый измеритель pH/ОВП/проводимости Hanna HI98195 и оксиметр Hanna HI98198) и полевой гидрогеохимической лаборатории. Последующее лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ.

В ходе исследования была определена оценка риска для здоровья населения согласно Руководству по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [13]. Расчет индивидуального канцерогенного риска (CR) для мужчин (м) и женщин (ж) производился по формуле:

$$CR_{As} = LADD \cdot SFo$$

где LADD – среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг·сут.); SFo – фактор наклона (мг/(кг·сут.)<sup>-1</sup>), характеризующий степень увеличения вероятности развития рака при воздействии канцерогена. Фактор наклона составляет 1,5 (мг/(кг·сут.)<sup>-1</sup>) для мышьяка.

Риск развития неканцерогенных эффектов (HQ) для мужчин (м) и женщин (ж) производился по формуле:

$$HQ_{As} = LADD / RfD$$

где RfD – референтная (безопасная) суточная доза. Для мышьяка RfD составляет 0,0003 мг/(кг·сут.).

Среднесуточная доза в течение жизни (LADD) рассчитывалась по формуле:

$$LADD = (C \cdot WI \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT \cdot 365)$$

где C – концентрация вещества в воде, мг/дм<sup>3</sup>; WI – потребление воды, л/день, принимаемое как 2 л/день; EF – частота воздействия, дней/год, принимаемая как 350 дней в год; ED – продолжительность воздействия, лет, принимая как 30 лет; BW – масса тела, кг, принимаемая как 70 кг для мужчин и 58 кг для женщин; AT – период усреднения экспозиции, принимаемый за 30 лет; 365 – число дней в году.

### ***Результаты и обсуждение***

Диапазон изменения концентраций мышьяка в природных водах исследуемого региона составляет от  $2 \cdot 10^{-5}$  до 0,27 мг/дм<sup>3</sup> со средним и фоновым значением в 0,08 мг/дм<sup>3</sup> и 0,00073 мг/дм<sup>3</sup> соответственно (рис. 1). В 218 пробах обнаружено превышение ПДК по мышьяку, составляющую 0,01 мг/дм<sup>3</sup> [14]. Самые высокие концентрации зафиксированы в поселках и садовых товариществах Советского района города Новосибирска, где они варьируют в пределах от 0,012 до 0,27 мг/дм<sup>3</sup>.

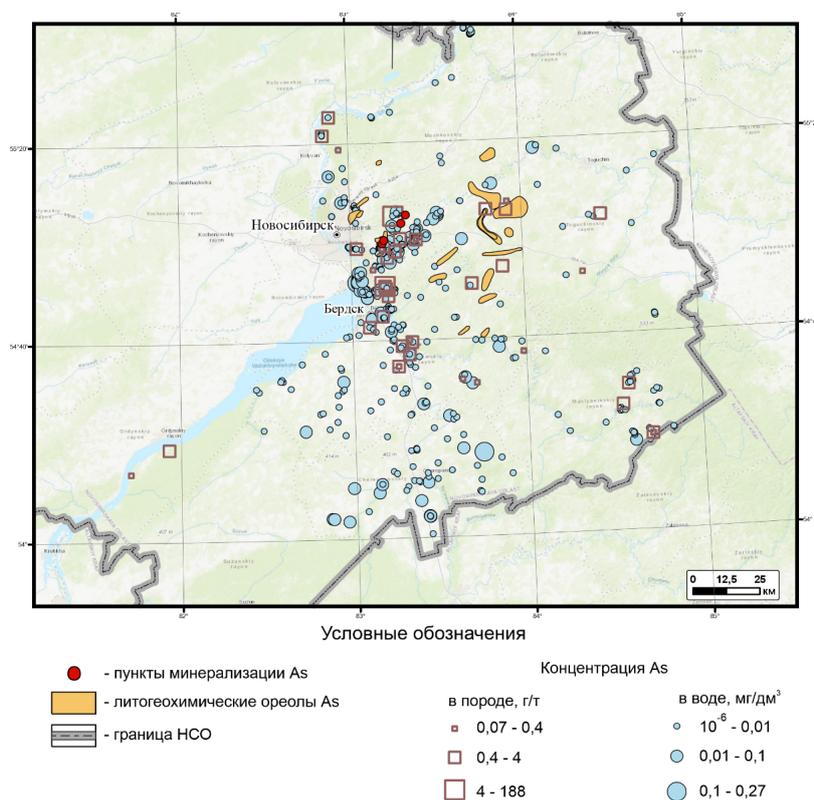


Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Содержание мышьяка во вмещающих горных породах изменяется от 0,07 до 188,8 г/т (кларковое число в верхнем слое континентальной коры составляет 4,8 г/т [15]). Наибольшие концентрации (более 10 г/т) выявлены в глинистых сланцах юргинской и пачинской свит, а также в гранитоидах барлаковского комплекса. Также на рис. 1 указаны пункты минерализации (точки, где обнаружены выходы рудных минералов) и литогеохимические ореолы (зоны, обогащенные химическим элементом) мышьяка.

Рассчитанные значения коэффициента опасности для перорального воздействия (HQ) изменяются от 0,0011 до 18,12 для женщин и от 0,001 до 15 для мужчин (рис. 2). Значения коэффициента выше 1 зафиксированы в 67 из 482 проб, сохранение уровня поступления мышьяка с водой в организм может привести к развитию заболеваний кожи, иммунной, сердечно-сосудистой, эндокринной, центральной нервной системы и желудочно-кишечного тракта.

Значения коэффициента канцерогенного риска (CR) составляют от  $3,5 \cdot 10^{-7}$  до  $6 \cdot 10^{-3}$  для женщин и от  $2,9 \cdot 10^{-7}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  для мужчин. В 21 пробе из Советского района г. Новосибирска и Новосибирского, Черепановского, Искитимского и Тогучинского районов Новосибирской области установленные значения превышают  $10^{-3}$ , в 297 пробах значение коэффициента превышает  $10^{-7}$ . При условии длительного употребления этих вод формируются высокие уровни риска развития онкологических заболеваний среди населения и поэтому они могут быть признаны непригодными для целей питьевого водоснабжения.

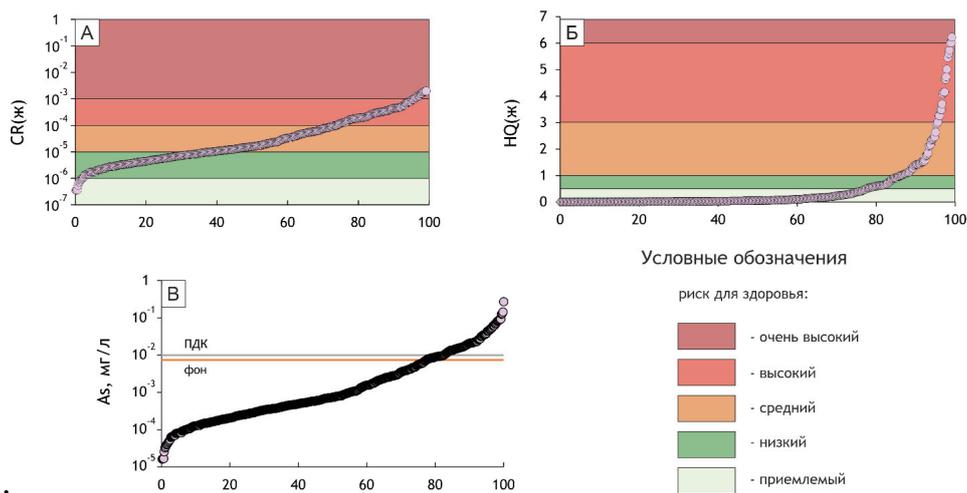


Рис. 2. А-В: Кумулятивные кривые для коэффициентов канцерогенного (А) и неканцерогенного (Б) рисков и содержания мышьяка в питьевых водах (В)

### Заключение

Таким образом, в 20% изученных проб изучаемого региона наблюдаются превышения предельно допустимой концентрации мышьяка, которые в единичных случаях могут достигать до 27 раз. Оценка риска указывает на возможные негативные последствия для здоровья населения при регулярном употреблении воды имеющегося качества. На действующих скважинах с ненадлежащим качеством вод рекомендуется применять системы обратного осмоса и нанофильтрации в сочетании с непрерывным мониторингом качества воды. Результаты подтверждают необходимость детального изучения геохимических особенностей территории исследования, механизмов миграции мышьяка, его источников и процессов взаимодействия с другими токсичными металлами.

### Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта № 25-17-20024 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Podgorski J. Global threat of arsenic in groundwater / J. Podgorski, M. Berg // Science. – 2020. – Vol. 368. – № 6493. – P. 845–850. DOI: 10.1126/science.aba1510.
2. Абдулмуталимова Т.О. Мышьяк в питьевых артезианских водах Северного Дагестана и риски здоровью населения / Т.О. Абдулмуталимова, Б.А. Ревич, И.М. Газалиев // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 1. – С. 37–40.
3. Максимова А.А. Токсичные элементы в подземных водах северных районов Обь-Зайсанской складчатой области / А.А. Максимова, А.В. Черных, Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, А.С. Деркачев, А.Ф. Сухорукова, А.Н. Никитенков, А.А. Хващевская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 5. – С. 17–26.
4. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some drinking-water disinfectants and contaminants, including arsenic. – Lyon, 2004.

5. Новиков Д.А. Радиоактивность водовмещающих пород Обь-Зайсанской складчатой области / Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, Л.Г. Вакуленко, Сухоруков В.П., Я.В. Фомина, Н.И. Яндола, А.А. Максимова, А.В. Черных, А.Ф. Сухорукова, А.С. Деркачев // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024. – № 1(57). – С. 110–120. DOI: 10.20403/2078-0575-2024-1-110-120.
6. Новиков Д.А. Распределение урана в системе вода-горная порода в пределах Обь-Зайсанской складчатой области / Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, А.В. Черных // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28. – № 12. – С. 34–39. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-12-34-39.
7. Новиков Д.А. Распределение химических элементов в системе вода-порода (на примере Железнодорожного ключа в долине реки Ини) / Д.А. Новиков, Л.Г. Вакуленко, А.А. Максимова, О.Д. Николенко, А.С. Деркачев, Я.В. Фомина (Садыкова), А.А. Хващевская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 2. – С. 201–214.
8. Novikov D.A. Role of the Water–Rock System in the Formation of the Composition of Radon Water of the Tulinskoe Field (Novosibirsk) / D.A. Novikov, A.N. Pyryaev, V.P. Sukhorukov, A.A. Maksimova, A.S. Derkachev, A.F. Sukhorukova, F.F. Dultsev, A.V. Chernykh, A.A. Khvashchevskaya, N.A. Medeshova // Russian Geology and Geophysics. – 2024. – Vol. 65. – № 12. – P. 1503–1518. DOI: <https://doi.org/10.2113/RGG20244716>.
9. Sukhorukov V.P. Composition and mineralogy of granitoids of the Ob-Zaisan folded region in the context of the prediction of groundwater radioactivity / V.P. Sukhorukov, A.F. Sukhorukova, D.A. Novikov, A.S. Derkachev // Mining Science and Technology (Russia). – 2024. – Vol. 9. – № 2. – P. 105–115. DOI: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-01-208>.
10. Arsenic (addendum) safety evaluation of certain contaminants in food // WHO Food additives series: 63. FAO JECFA Monographs 8. – Geneva: World Health Organization, 2011. – P. 153–316.
11. Arcella D. Chronic dietary exposure to inorganic arsenic / D. Arcella, C. Cascio, J.A.G. Ruiz // EFSA J. – 2021. – Vol. 19. – № 1. – Art. 6380. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6380>.
12. Liu S. Arsenic induces diabetic effects through beta-cell dysfunction and increased gluconeogenesis in mice / S. Liu, X. Guo, B. Wu, H. Yu, X. Zhang, M. Li // Sci. Rep. – 2014. – Vol. 4. – Art. 6894. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep06894>.
13. P 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – Введ. 2004.
14. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum / World Health Organization. – Geneva: WHO, 2017. – 631 p.
15. Rudnick R.L. Composition of the Continental Crust / R.L. Rudnick, S. Gao // Treatise on Geochemistry. – 2003. – Vol. 3. – P. 1–64. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4

© Н. И. Яндола, 2025