

Д. А. Новиков¹✉

Роль водорастворенного органического вещества в загрязнении подземных вод питьевого водоснабжения населения (на примере восточных районов Новосибирской области)

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

Аннотация. Приводятся данные по распределению растворенных органических веществ в подземных водах хозяйственно-питьевого назначения в пределах южных районов Западной Сибири. Установлено, что в изученных подземных водах содержание общего органического углерода ($C_{орг}$), который присутствует в подземных водах в виде органических соединений в растворенном и нерастворенном состоянии, составляют от 0,06 до 87,6 мг/дм³. Его максимальные концентрации (>50 мг/дм³) зафиксированы в подземных водах девонско-каменноугольного возраста. В 57 % изученных проб содержания $C_{орг}$ превышает предельно допустимые концентрации в 2 раза и более.

Ключевые слова: растворенное органическое вещество, гидрогеохимия, загрязнение, питьевые подземные воды, Новосибирская область, юг Западной Сибири

D. A. Novikov¹✉

Role of water-soluble organic matter in polluting groundwater intended for drinking water supply to the population (for eastern districts of the Novosibirsk Region)

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The data on the distribution of dissolved organic substances in the groundwaters for household and drinking purposes within the southern regions of Western Siberia are presented. The content of total organic carbon, which is present in groundwaters in the dissolved and non-dissolved states, was determined to vary from 0,06 to 87,6 mg/dm³. Its maximal concentrations (>50 mg/dm³) were detected in the groundwaters of the Devonian-Carboniferous age. In 57 % of the studied samples, total organic carbon content exceeds the maximum permissible concentrations by a factor of 2 and more.

Keywords: dissolved organic matter, hydrogeochemistry, pollution, drinking groundwaters, the Novosibirsk Region, the southern regions of Western Siberia

Введение

Высокие концентрации растворенных органических веществ (РОВ) в источниках питьевой воды представляют собой серьезную проблему для водоподготовки, что требует совершенствования технологий очистки. В первую очередь они оказывают влияние на органолептические свойства подземных вод (цвет,

запах и вкус), делая их непригодными в питьевых целях. Увеличение РОВ в водах неглубоко залегающих водоносных горизонтов связано с климатическими (потепление, экстремальные погодные явления) и неклиматическими (антропогенная деятельность, увеличение концентрации CO_2 в атмосфере) факторами, однако наиболее часто с климатическими. Традиционные методы очистки воды находятся на пределе своих возможностей по удалению высокого содержания РОВ, гидрофильных соединений и новых загрязняющих веществ, таких как фармацевтические препараты и т. д. [1].

О важности изучения РОВ еще в 1930-е гг. указывал В. И. Вернадский: «Органические вещества минеральных вод в буквальном смысле *terra incognita*. Несмотря на их малые количества значение их – бальнеологическое – может быть огромно. Оно должно быть огромно и в геохимическом эффекте» [2]. Согласно В. М. Швецу [3], среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в различных типах подземных вод варьирует в очень широком диапазоне. Так, максимально оно (до 800 мг/дм^3) – в водах нефтегазовых месторождений), а минимально (до 25 мг/дм^3) – в грунтовых водах аридных областей. Среди последних работ, связанных с изучением водорастворенного РОВ (ВРОВ) в различных геохимических типах природных вод Сибири, следует упомянуть исследования [4, 5, 6, 7].

При оценке качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения обычно необходимо знать, сколько органических веществ содержится в этих водах. Общее их количество оценивается концентрацией $C_{\text{орг}}$, а приблизительно – значением перманганатной окисляемости (ПО), основанной на окислении органических веществ, присутствующих в воде, перманганатом калия KMnO_4 в сернокислой среде [8]. Согласно действующим в Российской Федерации нормативным документам предельно допустимые концентрации (ПДК) для питьевых вод для $C_{\text{орг}}$ составляют 5 мг/дм^3 , для ПО – 5 мг О/дм^3 [9]. Процессы водоподготовки (хлорирование, озонирование и т. д.) могут приводить к образованию в водах, обогащенных РОВ, потенциально вредных побочных продуктов, представляющих огромную опасность для здоровья человека из-за их мутагенной, канцерогенной и репродуктивной токсичности [10, 11]. В связи с этим цель настоящего исследования – изучение распределения РОВ в питьевых подземных водах восточных районов Новосибирской области, что продолжает наши работы по этому региону [12-15].

Методы и материалы

Во время экспедиционных работ 2019–2025 гг. и последующих аналитических исследований в лабораториях ИНГГ СО РАН и ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ получен уникальный фактический материал по химическому составу 794 проб подземных вод, в разной степени обогащенных РОВ, отобранных в контрастных гидрогеологических условиях гранитоидных массивов, зон контактов и разновозрастных осадочных комплексов в южных районах Западной Сибири. Исследуемая территория в гидрогеологическом плане находится на стыке Иртыш-Обского артезианского бассейна (АБ) и Кузнецкой гидрогеологической складчатой области (ГСО), граница между которыми условно проводится по долине р. Обь.

Результаты и обсуждение

Все содержащиеся в подземных водах органические вещества в той или иной степени участвуют в био- и геохимических процессах. М. Е. Альтовский отметил среди них гидролиз клетчатки и гумуса, поликонденсацию гуминовых и других органических кислот, каталитическую гидрогенизацию аминокислот, декарбоксилирование карбоновых кислот и др. [16]. В последние годы ужесточились требования к оценке безопасности питьевых вод, что связано с прогрессирующим их загрязнением, в том числе высокотоксичными органическими компонентами. В настоящее время, согласно данным ВОЗ, в промышленности используется около 500 тыс. органических соединений, из которых более 40 тыс. являются вредными для здоровья человека и 12 тыс. – токсичными [17]. Изучаемые воды были разделены на восемь групп в соответствии с возрастом водовмещающих отложений (табл. 1).

Таблица. 1. Распределение РОВ в подземных водах юга Западной Сибири

Возраст во- довмещаю- щих отложе- ний		М*, мг/дм ³	рН	Еh, мВ	С _{общ}	С _{орг} ,	С _{неорг}	ПО, мгО/дм ³
					мг/дм ³			
Є–О		93,4–925 555(45)	7–8,4 7,5(45)	–141–(+304) 109,5(45)	23,2–77 61,5(16)	1,2–12,5 5,2(45)	15,9–66,1 52,3(16)	0,08–3,1 0,9(45)
D–C		171–1492 627(407)	6,7–8,7 7,5(407)	–150,4–(+306) 108,3(394)	14,7–153 80,2(147)	0,06–87,6 7,2(407)	12–113 66,35(147)	0,08–5,9 0,9(406)
J		1326	8,41	246,2	202	10,2	191	5,1
Р		471–761 612(3)	7,5–8,1 7,7(3)	83–177,5 126(3)	н/д	2–2,42 2,3(3)	н/д	0,26–1,0 0,65(3)
N		472–2905 1242(88)	7,3–8,9 7,7(88)	–173–(+270) 23,6(79)	н/д	1,8–46,2 9,4(88)	н/д	0,5–32,0 5(88)
Инtrузии	D	198–694 472(3)	7,2–8 7,5(3)	178–227 202,35(2)	21,9–49,9 38,9(3)	0,53–6,4 3,34(3)	21,4–43,6 35,6(3)	0,16–3,5 1,31(3)
	C	552–596 574(2)	7,07–7,3 7,2(2)	237,6–313 275,3(2)	69,9–81 75,5(2)	9,9–15,7 12,8(2)	60–65,5 62,7(2)	0,08–0,82 0,45(2)
	P–T	105–1339 706(46)	6,2–8,33 7,6(46)	–148–(+289) 109(46)	68,4–114 89(16)	0,79–25,6 8,3(46)	58,3–92 73(16)	0,08–4,8 1,2(46)

Примечания: В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее, в скобках – количество определений. М* – общая минерализация подземных вод; н/д – нет данных.

В изученных подземных водах содержание С_{общ} изменяется от 14,7 до 202 мг/дм³ и максимальна в водах юрских отложений, С_{неорг} – от 12–191 мг/дм³. С_{орг} присутствует в подземных водах в виде органических соединений в растворенном и нерастворенном состоянии, его концентрация 0,06–87,6 мг/дм³, максимальная (>50 мг/дм³) зафиксирована в подземных водах девонско-каменноугольного возраста. Анализ рассчитанных кумулятивных кривых для концентраций С_{орг} и ПО показал, что лишь в 15 % изученных проб содержания С_{орг} не превышают ПДК, а в 57 % проб превышают ПДК в 2 раза и более. Резко отличается картина по перманганатной окисляемости: меньшая часть исследованных проб

(41,5 %) превышает ПДК, однако в отдельных пробах – в 5 раз и более. Латеральная зональность в распределении РОВ носит весьма сложный характер (рис. 1а).

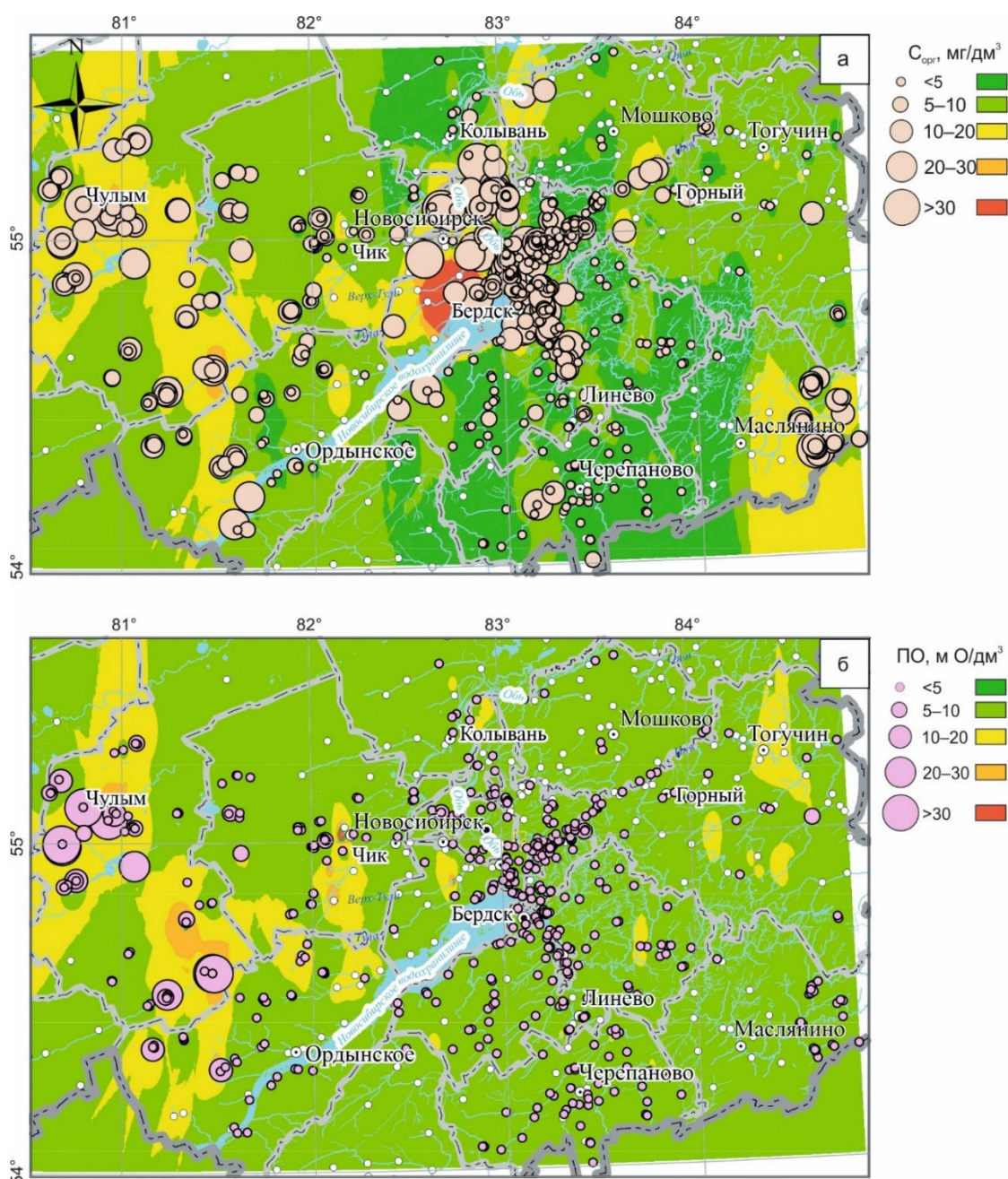


Рис. 1. Распределение РОВ (а) и ПО (б) в подземных водах южных районов Западной Сибири.

Максимальный уровень загрязнения $C_{орг}$ в пределах исследуемой территории наблюдается на территории Новосибирска и Новосибирского района (см. рис. 1, а). Здесь зафиксированы наиболее значительные превышения ПДК. Так, в пос. Междуречье концентрация $C_{орг}$ достигает $87,6 \text{ мг/дм}^3$, что почти в 18 раз выше установленной нормы. Превышения ПДК носят повсеместный характер во всех районах города, наиболее высокие ($C_{орг} > 30 \text{ мг/дм}^3$) выявлены в селах

Алексеевка, Ленинское, Криводановка, Новолуговое, поселках Междуречье, Красный Яр, СНТ «Звездное» и д/о «Хуторок». Второе место по степени загрязнения органическим веществом занимает Чулымский район: зафиксированная максимальная концентрация $C_{орг} = 46,2 \text{ мг/дм}^3$. Анализ проб показал, что нормативные значения установлены лишь в трех пробах из 65, что свидетельствует о повсеместном загрязнении территории.

Наибольшие превышения предельно допустимой концентрации по ПО зафиксированы в Чулымском районе (см. рис. 1, б). Максимальные значения достигают 32 мг О/дм^3 , что в 6 раз превышает установленную норму (населенные пункты: пос. Чулым и с. Золотая Грива). Второй по загрязненности район – Ордынский, здесь максимальное значение доходит до 14 мг О/дм^3 , в двух населенных пунктах – в пос. Пролетарский и с. Филиппово, в остальных пробах значения ПО не превышают 5 мг О/дм^3 , что соответствует установленным нормам.

Заключение

На территории исследования распространены преимущественно пресные, реже слабосоленоватые воды с минерализацией от 95 до 2905 мг/дм^3 . Как правило (в 60 % случаев) они имеют гидрокарбонатный кальциевый состав, значительно меньше – гидрокарбонатный кальциево-натриевый (13 % проб) и гидрокарбонатный натриево-кальциевый (7 % проб).

В изученных подземных водах содержание $C_{общ}$ изменяется от 14,7 до 202 мг/дм^3 , наибольшие концентрации отмечены в водах юрских отложений. Концентрации $C_{неорг}$ варьируют в интервале $12\text{--}191 \text{ мг/дм}^3$; $C_{орг}$, который присутствует в подземных водах в виде органических соединений в растворенном и нерастворенном состоянии, – $0,06\text{--}87,6 \text{ мг/дм}^3$, максимальные ($>50 \text{ мг/дм}^3$) зафиксированы в подземных водах девонско-каменноугольного возраста. Значение ПО варьирует в широком диапазоне – от 0,08 до $32,0 \text{ мг О/дм}^3$.

Латеральная зональность в распределении РОВ носит весьма сложный характер. Максимальный уровень загрязнения по $C_{орг}$ наблюдается на территории Новосибирска, высокий – в Маслянинском, Ордынском, Искитимском и Коченевском районах, а наибольшие превышения ПДК по показателю перманганатной окисляемости зафиксированы в Чулымском районе Новосибирской области.

Природа установленных гидрогеохимических аномалий (по $C_{орг}$ и ПО) требует дополнительных исследований состава органических веществ. Актуальность этих работ многократно возрастает в связи с ужесточением в последние годы требований к оценке безопасности питьевых вод, что связано с их прогрессирующим загрязнением, в том числе высокотоксичными органическими компонентами.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта № 25-17-20024 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области (№ 30-2025-000896).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ramanathan T., Sathasivan A. Dissolved organic carbon concentration changes in surface drinking water sources, treatment challenges and potential solutions // *Journal of Water Process Engineering*. – 2025. – V. 76. – 108188.
2. Вернадский В. И. История природных вод: Избр. соч. Т. 4, кн. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 651 с.
3. Швец В. М. Органические вещества подземных вод. – М.: Недра, 1973. – 191 с.
4. Лепокурова О. Е., Трифонов Н. С., Домрочева Е. В. Миграционные формы основных ионов в подземных водах угленосных отложений Кузбасса с акцентом на соединения с гумусовыми кислотами (по результатам моделирования) // *Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 3. – С. 76–89.
5. Бернатонис П. В., Копылова Ю. Г., Бернатонис В. К. и др. Органические вещества в водах сапропелевых озер Томской области // *Вестн. ТГУ*. – 2011. – № 348. – С. 161–164.
6. Потурай В. А., Компаниченко В. Н., Редин А. А. Органическое вещество в термальных водах Белокурихи // *Геология и геофизика*. – 2025. – Т. 66. – № 9. – С. 1177–1194.
7. Украинцев А. В., Плюснин А. М., Чернявский М. К. Формирование газового, элементного состава и растворенных органических веществ в железистых минеральных водах западного Забайкалья // *Геохимия*. – 2024. – Т. 69. – № 6. – С. 562–576.
8. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия подземных вод: Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021.
10. Beane F. L. E., Cantor K. P., Baris D. et al. Bladder cancer and water disinfection by-product exposures through multiple routes: a population-based case-control study (New England, USA) // *Environ. Health Perspect.* – 2017. – V. 125. – N. 6. – 067010.
11. Richardson S. D. *Encyclopedia of Environmental Health* / Ed. by J. O. Nriagu. – Burlington: Elsevier, 2011. – P. 110–136.
12. Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Maksimova A. A., Chernykh A. V., Derkachyov A. S. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2021. – V. 15. – 8 p.
13. Novikov D. A., Dultsev F. F., Kamenova-Totzeva R., Korneeva T. V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltsovsky–Mochishche zone of Novosibirsk, Russia // *Environmental Earth Sciences*. – 2021. – V. 80. – No. 216.
14. Novikov D. A., Kopylova Yu. G., Pyryaev A. N., Maksimova A. A., Derkachev A. S., Sukhorukova A. F., Dultsev F. F., Chernykh A. V., Khvashchevskaya A. A., Kalinkin P. N., Petrozhitsky A. V. Radon-rich waters of the Tulinka aquifers, Novosibirsk, Russia // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2023. – V. 20. – 100886.
15. Novikov D. A., Dultsev F. F., Maksimova A. A., Derkachyov A. S., Chernykh A. V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of the Kamenskoye hydro-radon occurrence, Novosibirsk, Russia // *Geochemistry*. – 2023. – V. 83. – N. 4. – 126016.
16. Альтовский М. Е. Гидрогеологические показатели нефтегазоносности. – М.: Недра, 1967. – 121 с.
17. Антипин М. А., Безденежных Н. А., Чугунова Н. А. Актуальные проблемы аналитической гидрогеохимии на современном этапе // *Разведка и охрана недр*. – 2009. – № 9. – С. 64–68.

© Д. А. Новиков, 2026