

Происхождение соединений углерода в водах дренажных каналов Тарманского болотного массива (Западная Сибирь) по гидрохимическим и изотопным данным

В. Н. Колотыгина¹✉, Е. А. Солдатова¹, М. И. Дину^{1,2}, А. Е. Минаева¹, А. О. Константинов¹

¹Тюменский государственный университет, Российская Федерация
(625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6)

²Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Российская Федерация
(119991, г. Москва, ул. Косыгина, 19)

Аннотация. Цель – изучение происхождения соединений углерода в водах дренажных каналов Тарманского водно-болотного массива по результатам анализа изотопного соотношения ¹³C/¹²C растворенного неорганического углерода и гидрохимическим данным.

Материалы и методы. В августе 2022 года в меженный период были отобраны воды дренажных каналов Тарманского болотного массива, расположенного в Тюменской области, воды озера Большое Тарманское и подземных вод. Для изучения химического состава воды были использованы стандартные методы анализа, метод изотопной масс-спектрометрии применялся для изучения изотопного состава растворенного неорганического углерода.

Результаты и обсуждение. По результатам анализа химического состава обнаружено, что питание вод дренажных каналов осуществляется преимущественно благодаря подземному питанию, что подтверждает повышенная минерализация, высокое содержание хлорид-иона, сходные значения pH и температур в водах дренажных каналов и подземных водах, в отличие от вод озера Большое Тарманское. В водах дренажных каналов неорганическая форма углерода преобладает над органической, в то время как в водах озера по содержанию превалирует органический углерод. Установлено, что в водах озера преобладает автохтонное органическое вещество, в подземных водах и водах дренажных каналов этот показатель примерно равен и значительно ниже (0,9-1,4 %), чем в озерных водах (4,8 %). Источником неорганического углерода в водах озера Большое Тарманское является минерализация органического вещества ($\delta^{13}\text{C-DIC} = -11,78 \text{ ‰}$), в то время как в формировании карбонатной системы подземных вод ($-2,56 \text{ ‰}$) и вод дренажных каналов ($-2,52 \text{ ‰}$, $-7,74 \text{ ‰}$) значительную роль играет растворение карбонатных минералов, что подтверждают данные изотопного анализа.

Заключение. Существенную роль в питании дренажных каналов в меженный период играют напорные подземные воды, что подтверждается физико-химическими характеристиками воды (температура, химический состав) и изотопными характеристиками растворенного неорганического углерода. По грубой оценке, содержание неорганического углерода, поступающего с подземной водой, превышает 60 % в одном из опробованных дренажных каналов, а в другом составляет 6-7 %. Органический углерод в воде дренажных каналов имеет в основном аллохтонное происхождение.

Ключевые слова: озерно-болотная система, подземные воды, поверхностные воды, $\delta^{13}\text{C-DIC}$, растворенное органическое вещество, ¹³C/¹²C, стабильные изотопы углерода.

Источник финансирования: Пробоотбор на территории Тарманского болотного массива выполнен в рамках программы академического лидерства Тюменского государственного университета (Приоритет-2030). Обработка данных химического и изотопного анализа выполнена за счет средств гранта РФФ 23-77-10012.

Для цитирования: Колотыгина В. Н., Солдатова Е. А., Дину М. И., Минаева А. Е., Константинов А. О. Происхождение соединений углерода в водах дренажных каналов Тарманского болотного массива (Западная Сибирь) по гидрохимическим и изотопным данным // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 3, с. 82-89. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/82-89>

ВВЕДЕНИЕ

Озерно-болотные комплексы являются ключевыми компонентами современных ландшафтов подтайги Западной Сибири [3]. Их состояние в значительной степени определяет устойчивость экологического каркаса обширных районов наиболее заселенной и урбанизированной части региона [7]. Озерно-болотные

ландшафты подтайги Западной Сибири играют важную роль в формировании биогеохимических циклов, регулировании стока и стабилизации водного режима, а также сохранении биоразнообразия и реализации рекреационного потенциала территории.

Одним из крупных озерно-болотных комплексов является Тарманский болотный массив, находящийся

© Колотыгина В. Н., Солдатова Е. А., Дину М. И., Минаева А. Е., Константинов А. О., 2024

✉ Колотыгина Виктория Николаевна, e-mail: v.n.kolotygina@utmn.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Пробы для анализа элементного углерода и изотопного состава растворенного неорганического углерода ($\delta^{13}\text{C-DIC}$) фильтровали через шприцевой мембранный нейлоновый фильтр с диаметром пор 0,22 мкм в стерильные стеклянные флаконы объемом 50 мл. На месте отбора проб производились измерения температуры, pH, Eh, электропроводности с помощью портативных анализаторов PH200, ORP200 и COM100 (HM Digital, КНР).

Содержание углекислого газа в воде определено потенциометрическим титрованием 100 мл пробы 0.1н NaOH-р до значения pH=8.3. Содержание HCO_3^- и CO_3^{2-} определено потенциометрическим титрованием в присутствии фенолфталеина (при определении карбонат-анионов) или метилового оранжевого (при определении гидрокарбонат-анионов) в качестве индикаторов по методике ГОСТ 31957-2012¹. Определение перманганатной окисляемости (ПО) производилось титриметрическим методом по ГОСТ Р 55684-2013². Химическое потребление кислорода (ХПК) определялось фотометрическим методом по ГОСТ 31859-2012³. Анализ содержания общего, органического и неорганического углерода выполнен на приборе VarioTOC Cube (Elementar, UK) по методике ГОСТ 31958-2012⁴. Определение содержания Cl^- , SO_4^{2-} и основных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) производилось методом капиллярного электрофореза по ГОСТ 31869-2012⁵ на приборе Капель-205 (Люмэкс, Россия).

Изотопный состав растворенного неорганического углерода определяли методом изотопной масс-спектрометрии на приборе с непрерывным потоком (CF-IRMS) Isoprime precisION (Elementar, UK), соединенном с проточной системой уравнивания и ввода газовой пробы Headspace gas analyzer isoFLOW (Elementar, UK). Соотношения стабильных изотопов выражено в промилле (‰) в виде дельты ($\delta^{13}\text{C-DIC}$) между соотношением стабильных изотопов в образце и известном эталонном образце, в качестве которого выступал международный стандарт NBS18:

$$\delta_x = \frac{R_x - R_{st}}{R_{st}} * 1000, \quad (1)$$

где $R_x = (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_x$ в образце X, $R_{st} = (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{st}$ в эталонном образце [11]. Значения $\delta^{13}\text{C-DIC}$ значения приводятся относительно формации «Vienna Peedee Belemnite» (VPDB). Точность и воспроизводимость анализа $\pm 0,2$ ‰.

Оценка содержания автохтонного органического вещества (ОВ) проведена по формуле [6]:

$$\rho_{\text{авт}} = 0,54 * \frac{\text{ХПК}}{\sqrt{\text{Цв} * \text{ПО}}} - 0,27, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{авт}}$ – содержание автохтонного ОВ в %, ХПК – химическое потребление кислорода в мгО/л, Цв – цветность в градусах, ПО – перманганатная окисляемость в мгО/л.

Вклад подземных вод в миграцию неорганического углерода рассчитан с помощью модели смешения двух компонентов, подземных вод и воды озера Большое Тарманское:

$$\delta_m = \frac{[\text{DIC}] * \delta_1 * f + [\text{DIC}] * \delta_2 * (1 - f)}{[\text{DIC}] * f + [\text{DIC}] * (1 - f)}, \quad (1)$$

где δ_m – изотопное отношение $\delta^{13}\text{C-DIC}$ в смеси, $[\text{DIC}]$ – концентрация растворенного неорганического углерода, δ_1 – изотопное отношение $\delta^{13}\text{C-DIC}$ в подземных водах (end member 1), δ_2 – изотопное отношение $\delta^{13}\text{C-DIC}$ в воде озера Большое Тарманское (end member 2), f – доля DIC подземных вод в смеси.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам анализа воды дренажных каналов относятся к гидрокарбонатно-хлоридному кальциево-магниевому-натриевому типу. По показателю pH классифицируются как нейтральные (табл. 1), а по минерализации – как слабосолоноватые [5]. По показателю Eh геохимическая обстановка характеризуется как окислительная. Температура воды в дренажных каналах составляла около 20 °С (см. табл. 1), что почти на 10 °С ниже зафиксированной в день отбора температуры воздуха (27 °С). Подземные воды имеют хлоридно-гидрокарбонатный натриево-магниевый-кальциевый состав и характеризуются как нейтральные слабосолоноватые.

По показателю Eh обстановка является восстановительной (глеевой). Температура подземной воды при отборе составила 12,9 °С. Вода озера Большое Тарманское существенно отличается по химическому составу от опробованных подземных вод и вод дренажных каналов; они являются гидрокарбонатными магниевыми-натриево-кальциевыми сильнощелочными ультрапресными (см. табл. 1), что в целом характерно для озер района исследований [1]. Геохимическая обстановка характеризуется как окислительная. Температура озерной воды была близка к температуре воздуха при отборе и составила 26,7 °С.

Повышенная минерализация и высокое содержание хлорид-иона в воде, отобранной из дренажных каналов, явно указывает на преобладание подземного питания в меженный период. Также это подтверждается сходными значениями pH подземных вод и вод дренажных каналов и пониженными значениями температуры воды дренажных каналов по сравнению с во-

¹ГОСТ 31957-2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов: дата введения 2014-01-01. Москва: Стандартинформ, 2013. 3 с.

²ГОСТ Р 55684-2013. Метод определения перманганатной окисляемости: дата введения 2015-01-01. Москва: Стандартинформ, 2019. 7 с.

³ГОСТ 31859-2012. Метод определения химического потребления кислорода: дата введения 2014-01-01. Москва: Стандартинформ, 2019. 5 с.

⁴ГОСТ 31958-2012. Вода. Методы определения общего и растворенного органического углерода 2014-01-01. Москва: Стандартинформ, 2013. 11 с.

⁵ГОСТ 31869-2012. Методы определения содержания катионов (аммония, бария, калия, кальция, лития, магния, натрия, стронция) с использованием капиллярного электрофореза: дата введения 2014-01-01. Москва: Стандартинформ, 2019. 2 с.

Химический состав вод, опробованных в пределах Тарманского болотного массива в 2022 году
[Table 1. Chemical composition of waters sampled within the Tarmansky marsh massif in 2022]

Определяемая характеристика, единица измерения / Defined characteristic, unit of measurement	Ta-22-01	Ta-22-02	Ta-22-03	Ta-22-04
	Дренажные каналы / Drainage channels		Подземные воды / Groundwater	озеро Большое Тарманское / Bolshoe Tarmansкое Lake
Температура, °С	16,0	21,7	12,9	26,7
Цветность, градусы	40	30	24	12
pH	7,06	7,43	6,83	9,56
Eh, мВ	28	83	-1	72
ТС, мг/л	87	79	212	64
DOC, мг/л	30	32	27	47
DIC, мг/л	57	47	185	16
ХПК, мгО/л	101	64,7	42,3	170
ПО, мгО/л	23,9	22,5	17,4	28,4
$\delta^{13}\text{C-DIC}$, ‰	-7,74	-2,52	-2,56	-11,78
CO_2 , мг/л	4,78	0,87	28,67	0,003
HCO_3^- , мг/л	293	285	941	57,5
CO_3^{2-} , мг/л	0,23	1,23	0,39	11,7
Cl^- , мг/л	518	490	260	5,8
SO_4^{2-} , мг/л	<0,5	<0,5	1,5	<0,5
Ca^{2+} , мг/л	99,6	88,8	171	13,8
Mg^{2+} , мг/л	86,2	83,7	100	4,8
Na^+ , мг/л	166	163	137	9,4
K^+ , мг/л	5,56	5,04	3,50	2,26
TDS, мг/л	1169	1117	1614	105

Примечание. ХПК – химическое потребление кислорода, ПО – перманганатная окисляемость, БПК₅ – биохимическое потребление кислорода, ТС – валовое содержание растворенного углерода, DOC – растворенный органический углерод, DIC – растворенный неорганический углерод, $\rho_{\text{авт}}$ – процентное содержание автохтонного ОВ, TDS – минерализация как сумма основных катионов и анионов.

[Note. COD – chemical oxygen demand, PO – permanganate oxidation, BOD₅ – biochemical oxygen demand, TC – gross dissolved carbon, DOC – dissolved organic carbon, DIC – dissolved inorganic carbon, ρ_{aut} – percentage of autochthonous OM, TDS – mineralization as a sum main cations and anions]

дой озера Большое Тарманское. Повышение доли хлорид-иона и натрия в воде дренажных каналов в сравнении с подземными водами указывает на существенное влияние процессов испарительного концентрирования на формирование их состава, что весьма закономерно в условиях межлетнего периода и сложившихся в июле и августе 2022 года сухих и жарких условий в районе исследований.

Максимальное содержание углерода (органического и неорганического) отмечается в подземных водах, минимальное – в воде озера Большое Тарманское. Содержание же DOC максимально в воде озера, здесь органическая форма углерода доминирует над неорганической, в то время как в воде дренажных каналов и подземных водах преобладающими являются неорганические формы углерода (табл. 1, рис. 2). Более высокие значения показателей перманганатной и бихроматной окисляемо-

сти отмечаются в поверхностных водах в сравнении с подземными. Максимальные значения ХПК, ПО зафиксированы в воде озера (см. табл. 1, рис. 2).

Органическое вещество природных вод делится на две большие группы – аллохтонное и автохтонное [12]. Аллохтонное ОВ гумусовой природы терригенного происхождения, его источниками являются продукты неполного разложения растительных и животных остатков, привнесенные с суши. Автохтонное ОВ образуется непосредственно в водоемах в результате фотосинтеза и разрушения детрита (мертвых бактерий, фитопланктона и других органических остатков) [1]. Содержание автохтонного ОВ, определенное по формуле (2), предложенной [1], оценивается в первые проценты и закономерно больше в поверхностных водах, чем в подземных (рис. 3). Также определить происхождение ОВ позволяет соотношение ПО/ХПК: чем оно ниже, тем больше автохтон-

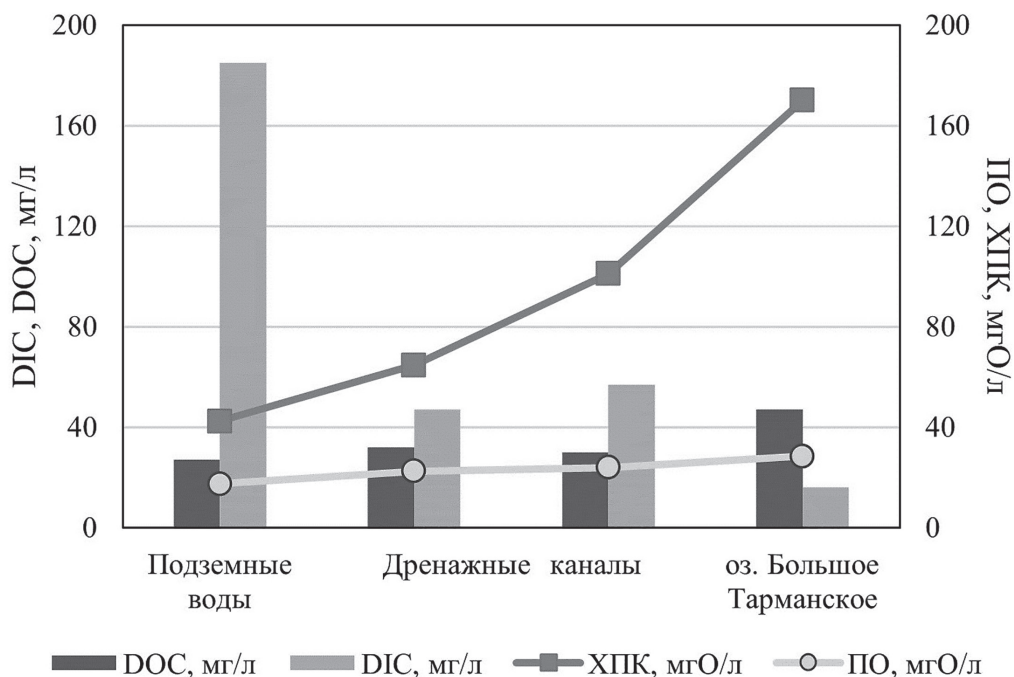


Рис. 2. Содержания растворенного органического (DOC) и неорганического (DIC) углерода и значения перманганатной (ПО) и бихроматной (ХПК) окисляемости в изучаемых водных объектах [Fig. 2. Contents of dissolved organic (DOC) and inorganic (DIC) carbon and values of permanganate (PO) and dichromate (COD) oxidation in the studied water bodies]

ного ОВ содержится в воде [8]. Значения отношения ПО/ХПК варьирует в исследуемых водах от 0,17 до 0,41 (см. рис. 3). Оно минимально для воды озера, максимально для подземных вод и подтверждает более высокое содержание автохтонного ОВ в поверхностных водах.

Что касается значений $\delta^{13}\text{C}$ -DIC, то неорганический углерод, растворенный в воде озера легче неорганическо-

го углерода в подземной воде и воде дренажных каналов (рис. 4). При этом значения $\delta^{13}\text{C}$ -DIC в воде одного из дренажных каналов практически идентичны значениям $\delta^{13}\text{C}$ -DIC в подземных водах. Следует также отметить, что изотопный состав растворенного DIC соответствует составу углерода карбонатных пород, в то время как $\delta^{13}\text{C}$ -DIC воды озера приближается по значениям к $\delta^{13}\text{C}$ почв,

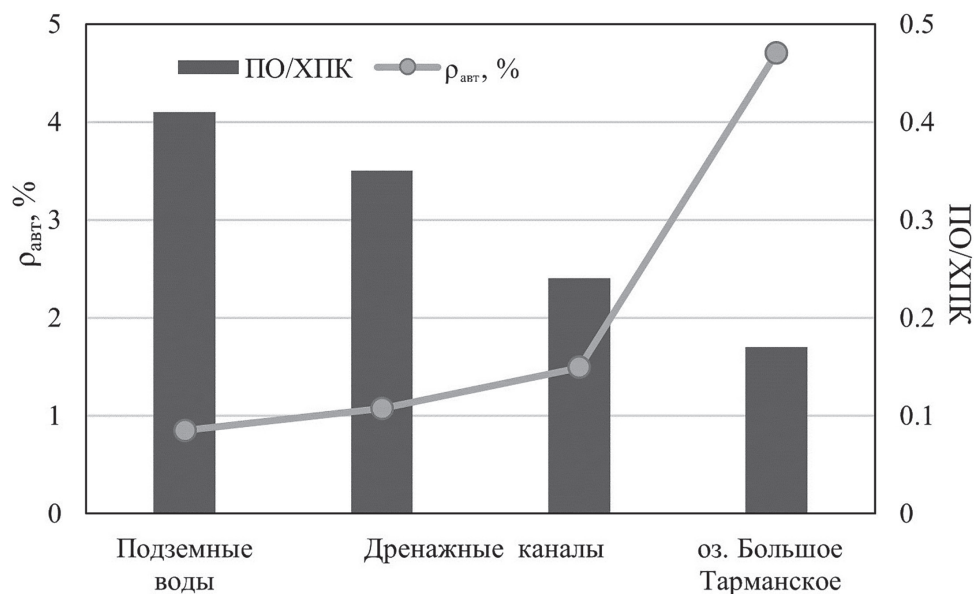


Рис. 3. Процентное содержание автохтонного ОВ и соотношение ПО/ХПК (чем ниже, тем больше автохтонного ОВ) для исследуемых водных объектов [Fig. 3. The percentage of autochthonous OM and the PO/COD ratio (the lower, the more autochthonous OM) for the studied water bodies]

который в свою очередь является функцией разложения опада. Таким образом, можно заключить, что источником DIC в водах озера Большое Тарманское является минерализация ОВ, в то время как в формировании карбонатной системы подземных вод значительную роль играет растворение карбонатных минералов.

Учитывая существенную разницу в значениях $\delta^{13}\text{C}$ -DIC озерных и подземных вод и принимая допущение, что преобладающими источниками питания озера Большое

Тарманское являются атмосферные осадки и площадной поверхностный сток, можно приблизительно оценить, какой процент неорганического углерода поступает в дренажные каналы с подземным стоком, пользуясь простой моделью смешения по формуле (3). Для воды в точке опробования Та-22-02 доля DIC, поступившего с подземными водами составляет от 68 до 100 % с учетом погрешности определения изотопного состава, для воды в точке опробования Та-22-01 значения варьируют в пределах 6-7 %.

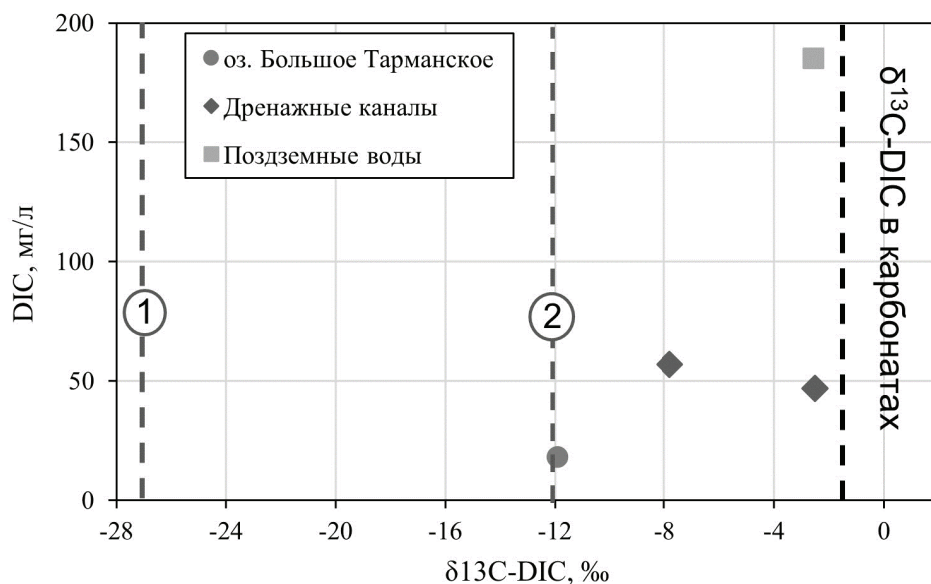


Рис. 4. Зависимость изотопного состава растворенного неорганического углерода ($\delta^{13}\text{C-DIC}$) от его концентрации в исследуемых водах.

Черными пунктирными линиями показан диапазон значений $\delta^{13}\text{C-DIC}$ в карбонатных породах [9], серыми пунктирными линиями – средние значений $\delta^{13}\text{C-DIC}$ в C3-растениях (1) и C4-растениях (2) [10]

[Fig. 4. Dependence of the isotopic composition of dissolved inorganic carbon ($\delta^{13}\text{C-DIC}$) on its concentration in the studied waters. Black dotted lines show the range of $\delta^{13}\text{C-DIC}$ values in carbonate rocks [9], grey dotted lines show the average $\delta^{13}\text{C-DIC}$ values in C3 plants (1) and C4 plants (2) [10]

Ограничением представленного исследования, безусловно, является небольшое количество образцов, а также применение для оценки содержания автохтонного ОВ эмпирической формулы, выведенной для поверхностных вод гумидной климатической зоны. Однако результаты, полученные при расчетах, хорошо соотносятся с классической оценкой происхождения растворенного органического вещества по соотношению ПО/ХПК и другими гидрохимическими и изотопными характеристиками, что позволяет использовать данную формулу по крайней мере для сравнительной характеристики объектов, находящихся в близких ландшафтно-климатических условиях. Также отметим, что при оценке поступления неорганического углерода с подземными водами не учитывались процессы изотопного фракционирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существенную роль в питании дренажных каналов в меженный период играют напорные подземные воды, что подтверждается физико-химическими характеристиками воды (температура, химический состав) и изотопными характеристиками растворенного неорганического углерода. По грубой оценке, содержание

неорганического углерода, поступающего с подземной водой, превышает 60 % в одном из опробованных дренажных каналов, а в другом канале составляет 6-7 %. Увеличение доли DOC в воде дренажных каналов по сравнению с подземными водами и приближение его содержания к значениям, наблюдаемым в воде озера Большое Тарманское, вероятно, связано с привнесом аллохтонного ОВ с поверхностным стоком. Органический углерод в воде дренажных каналов имеет в основном аллохтонное происхождение, однако, в дренажных каналах несколько увеличивается доля автохтонного ОВ по сравнению с подземными водами, что вполне логично для поверхностных водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии / П. А. Лозовик, А. К. Морозов, М. Б. Зобков и др. // *Водные ресурсы*, 2007, т. 34, с. 204-216.
2. Ануфриева Л. И., Шиверских И. А., Кривенкова Г. Г. Эколого-геологическое картографирование масштаба 1:200 000 территории листов О-41-XXIV, XXX // *Отчет Восточной съёмочной эколого-геологической партии за 1993-2001 г.г.: геологический отчет*, 2001. 1541 л.

3. Земцов А. А., Мезенцев А. В., Инишева Л. И. Болота Западной Сибири: их роль в биосфере. Томск: ТЦНТИ, 1998. 72 с.
4. Калинин В. М., Чиков В. Количественная оценка воздействия мелиорации земель на режим и качество подземных вод // *Вестник Тюменского государственного университета*, 2002, № 3, с. 134-140.
5. Кирюхин В. А., Коротков А. И., Шварцев С. Л. Гидрогеохимия: учебник для вузов. Москва: Недра, 1993.
6. Кремлева Т. А., Хорошавин В. Ю. Особенности ионного состава природных вод малых озер Западной Сибири и их классификация по кислотности и содержанию органического вещества // *Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах*, 2016, с. 153-164.
7. Панченко Е. М., Дюкарев А. Г. Эколого-функциональное зонирование Обь-Томского междуречья и охрана окружающей среды // *Вестник Томского государственного университета*, 2007, № 305, с. 202-207.
8. Скопинцев Б. А., Гончарова И. А. Использование значимых отношений различных показателей органического вещества природных вод для его качественной оценки // *Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии*, 1987, с. 95-117.
9. Cuna S., Pop D., Hosu A. Carbon and oxygen isotope ratios in Rona limestone, Romania // *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Geologia*, 2001, no. 46 (1), pp. 139-152.
10. Deines P. The isotopic composition of reduced organic carbon // *Handbook of environmental isotope geochemistry*, 1980.
11. Friedman I. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest // *Data of geochemistry*, 1977, pp. KK1-KK12.
12. Raspor B. Adsorption of humic substances from seawater at differently charged surfaces // *Science of the total environment*, 1989, vol. 81, pp. 319-328.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 16.09.2023

Принята к публикации: 30.08.2024

UDC 55.556

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/82-89>

Origin of Carbon Compounds in Waters of Drainage Channels of the Tarmansky Marsh Massif (Western Siberia) According to Hydrochemical and Isotope Data

V. N. Kolotygina¹✉, E. A. Soldatova¹, M. I. Dinu^{1,2}, A. E. Minaeva¹, A. O. Konstantinov¹

¹University of Tyumen, Russian Federation
(6, Volodarsky Str., Tyumen, 625003)

²V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, Russian Federation
(19, Kosygin Str., Moscow, 119991)

Abstract. The purpose is to study the origin of carbon compounds in the waters of drainage channels of the Tarmansky marsh massif based on the results of analysis of ¹³C/¹²C isotopic ratio of dissolved inorganic carbon and hydrochemical data.

Materials and methods. The waters of drainage channels of Tarmansky marsh massif located in the Tyumen region and the Bolshoye Tarmanskoye Lake water and groundwater were collected in August 2022 in low-water period. Standard methods of analysis were used to study the chemical composition of water; the isotope mass spectrometry method was used to study the isotopic composition of dissolved inorganic carbon.

Results and discussion. According to the results of chemical composition analysis it was found out that drainage channels waters are mainly fed by underground feeding, which is confirmed by increased mineralisation, high chloride ion content, similar pH and temperature values in drainage canal waters and groundwater, unlike the waters of the Bolshoye Tarmanskoye Lake.

In drainage channels waters, inorganic carbon form prevails over organic carbon, while in lake waters organic carbon prevails in terms of content. It is established that in lake waters autochthonous organic matter prevails, in groundwater and drainage channels waters this indicator is approximately equal and considerably lower (0.9-1.4 %) than in lake waters (4.8 %).

The source of inorganic carbon in the waters of the Bolshoye Tarmanskoye Lake is mineralisation of organic matter ($\delta^{13}\text{C-DIC} = -11.78 \text{ ‰}$), while dissolution of carbonate minerals plays a significant role in the formation of the carbonate system of groundwater (-2.56 ‰) and drainage channels waters (-2.52 ‰ , -7.74 ‰), which is confirmed by isotope analysis data.

Conclusion. Pressure groundwater plays a significant role in drainage channels feeding during low-water period, which is confirmed by physico-chemical characteristics of water (temperature, chemical composition) and isotopic characteristics of dissolved inorganic carbon. According to a rough estimate, the content of inorganic carbon entering with groundwater exceeds 60 % in one of the sampled drainage canals, and in the other it is 6-7 %. Organic carbon in drainage canal water is mainly of allochthonous origin.

Key words: lake-marsh system, groundwater, surface waters, $\delta^{13}\text{C-DIC}$, dissolved organic matter, ¹³C/¹²C, carbon stable isotopes.

© Kolotygina V. N., Soldatova E. A., Dinu M. I., Minaeva A. E., Konstantinov A. O., 2024

✉ Victoria N. Kolotygina, e-mail: v.n.kolotygina@utmn.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Funding: Sampling on the territory of the Tarmansky marsh massif was carried out within the framework of the academic leadership program of the Tyumen State University (Priority-2030). Processing of chemical and isotopic analysis data was supporting by the Russian Science Foundation (project No 23-77-10012).

For citation: Kolotygina V.N., Soldatova E.A., Dinu M.I., Minaeva A.E., Konstantinov A.O. Origin of Carbon Compounds in Waters of Drainage Channels of the Tarmansky Marsh Massif (Western Siberia) According to Hydrochemical and Isotope Data. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 3, p. 82-89 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/82-89>

REFERENCES

1. Allohtonnoe i avtohtonnoe organicheskoe veshchestvo v poverhnostnyh vodah Karelii [Allochthonous and autochthonous organic matter in surface waters of Karelia] / P.A. Lozovik, A.K. Morozov, M.B. Zobkov et al. *Vodnye resursy*, 2007, vol. 34, pp. 204-216. (In Russ.)
2. Anufrieva L.I., SHiverskih I.A., Krivenkova G.G. Ekologo-geologicheskoe kartografirovaniye masshtaba 1:200 000 territorii listov O-41-XXIV, XXX [Ecological and geological mapping of the territory on a scale of 1:200 000 sheets O-41-XXIV, XXX]. *Otchet Vostochnoy s'emochnoj ekologo-geologicheskoy partii za 1993-2001 g.g.: geologicheskij otchet*, 2001. 1541 l. (In Russ.)
3. Zemcov A.A., Mezenцев A.V., Inisheva L.I. *Bolota Zapadnoj Sibiri: ih rol' v biosphere* [Swamps of Western Siberia: their role in the biosphere]. Tomsk: TCNTI, 1998. 72 p. (In Russ.)
4. Kalinin V.M., Chikov V. Kolichestvennaya ocenka vozdejstviya melioracii zemel' na rezhim i kachestvo podzemnyh vod [Quantitative assessment of the impact of land reclamation on the regime and quality of groundwater]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2002, no. 3, pp. 134-140. (In Russ.)
5. Kiryuhin V.A., Korotkov A.I., Shvarcev S.L. *Gidrogeohimiya: uchebnik dlya vuzov* [Hydrogeochemistry: Textbook for universities]. Moscow: Nedra, 1993. (In Russ.)
6. Kremleva T.A., Horoshavin V.Yu. Osobennosti ionnogo sostava prirodnyh vod malyh ozer Zapadnoj Sibiri i ih klassifikaciya po kislotnosti i sodержaniyu organicheskogo veshchestva [Features of the ionic composition of natural waters of small lakes in Western Siberia and their classification according to acidity

and organic matter content]. *Biogehimiya himicheskikh elementov i soedinenij v prirodnyh sredah*, 2016, pp. 153-164. (In Russ.)

7. Panchenko E.M., Dyukarev A.G. Ekologo-funkcional'noe zonirovaniye Ob'-Tomskogo mezhdurech'ya i ohrana okruzhayushchej sredy [Ecological-functional zoning of the Ob-Tom interfluvium and environmental protection]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2007, no. 305, pp. 202-207. (In Russ.)

8. Skopincev B.A., Goncharova I.A. Ispol'zovaniye znachenij otноshenij razlichnyh pokazatelej organicheskogo veshchestva prirodnyh vod dlya ego kachestvennoj ocenki [Using the ratios of various indicators of organic matter in natural waters for its qualitative assessment]. *Sovremennyye problemy regional'noj i prikladnoj gidrohimii*, 1987, pp. 95-117. (In Russ.)

9. Cuna S., Pop D., Hosu A. Carbon and oxygen isotope ratios in Rona limestone, Romania. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Geologia*, 2001, no. 46 (1), pp. 139-152.

10. Deines P. The isotopic composition of reduced organic carbon. *Handbook of environmental isotope geochemistry*, 1980.

11. Friedman I. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. *Data of geochemistry*, 1977, pp. KK1-KK12.

12. Raspor B. Adsorption of humic substances from seawater at differently charged surfaces. *Science of the total environment*, 1989, vol. 81, pp. 319-328.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 16.09.2023

Accepted: 30.08.2024

Колотыгина Виктория Николаевна
лаборант-исследователь центра изотопной биогеохимии института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО) Тюменского государственного университета, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6368-4815, e-mail: v.n.kolotygina@utmn.ru

Солдатова Евгения Александровна
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник центра изотопной биогеохимии института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО) Тюменского государственного университета, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3967-4822, e-mail: 2a61@mail.ru

Дину Марина Ивановна
кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-5010-5300, e-mail: marinadinu@gmail.com

Минаева Анастасия Евгеньевна
инженер-химик ТюменьПромИзыскания, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0009-0000-9917-8439, e-mail: anastasiya.minaeva01@gmail.com

Константинов Александр Олегович
научный сотрудник центра изотопной биогеохимии института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО) Тюменского государственного университета, Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-6950-2207, e-mail: konstantinov.alexandr72@gmail.com

Victoria N. Kolotygina
Laboratory Research Assistant at the Centre for Isotope Biogeochemistry, Institute of Environmental and Agricultural Biology (X-BIO), Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6368-4815, e-mail: v.n.kolotygina@utmn.ru

Evgenia A. Soldatova
Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher at the Centre for Isotope Biogeochemistry, Institute of Environmental and Agricultural Biology (X-BIO), Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3967-4822, e-mail: 2a61@mail.ru

Marina I. Dinu
Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher at the Laboratory of Evolutionary Biogeochemistry and Geoecology, V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-5010-5300, e-mail: marinadinu@gmail.com

Anastasiya E. Minaeva
Chemical Engineer at the TyumenPromIzyskaniya, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0009-0000-9917-8439, e-mail: anastasiya.minaeva01@gmail.com

Alexander O. Konstantinov
Researcher at the Centre for Isotope Biogeochemistry, Institute of Environmental and Agricultural Biology (X-BIO), Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-6950-2207, e-mail: konstantinov.alexandr72@gmail.com