

ХИМИЧЕСКИЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД г. НАРЬЯН-МАРА (ЕВРОПЕЙСКАЯ АРКТИКА, РОССИЯ)

И. С. Иванова^{1, 2}, Н. Г. Наливайко³, Л. С. Широкова¹

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, пр. Ломоносова 249, 163001 Архангельск, Российская Федерация; IvanovaIS_1986@mail.ru

² Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, пр. Академический 4, 634021 Томск, Российская Федерация

³ Томский политехнический университет, Институт природных ресурсов, пр. Ленина 30, 634050 Томск, Российская Федерация

Интенсивное хозяйственное освоение арктической части Европейского Севера влечет за собой резкое увеличение антропогенной нагрузки, которая проявляется не только в развитии промышленного производства, но и в росте населения, в том числе и временного. В результате чего, продукты антропогенной деятельности (загрязняющие вещества), поступают с поверхностным стоком. Одной из главных проблем данного региона является обеспечение населения питьевой водой, отвечающей всем нормам качества [1, 2]. Подземные воды, как источник для хозяйственно-питьевого водоснабжения, имеют ряд преимуществ по сравнению с поверхностными водами: они имеют высокое качество изначально, более защищены от антропогенного загрязнения и менее подвержены сезонным колебаниям уровней вод.

Гидрографическая сеть Большеземельской тундры представлена, в основном, термокарстовыми озёрами, которые характеризуются простыми округлыми очертаниями, небольшой глубиной, торфянистыми обрывистыми берегами и торфяным дном.

В геологическом строении исследуемого района принимают участие отложения меловой, неогеновой и четвертичной систем. На исследуемой территории развиты многолетние мерзлые породы, которые затрудняют питание подземных вод, так как являются водоупором. К основным водоносным комплексам относятся водоносный комплекс четвертичных отложений, нерасчленённых неоген-среднечетвертичных отложений и нижнемеловых отложений. Главным источником для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения г. Нарьян-Мара являются подземные воды современного аллювиального водоносного горизонта, залегающего первым от поверхности и распространённого в долинах рек Печоры и Куи. Источниками питания горизонта являются атмосферные осадки и поверхностные воды. Водовмещающие породы представлены песками мощностью до 30 м. Ниже подстилают суглинки вычегодского горизонта, являющиеся водоупором и защищающими водоносный горизонт современных аллювиальных отложений от солёных вод нижнемелового водоносного комплекса.

В течение 2016 г. на территории г. Нарьян-Мара были проведены полевые работы, включающие в себя гидрохимические, микробиологические исследования природных вод. В результате, получены данные по химическому составу 11 проб подземных вод (табл. 1), которые были дополнены фоновыми данными.

Питьевые подземные воды являются пресными (минерализация 0,1–0,25 г/л), гидрокарбонатными кальциево-натриевыми, с повышенным содержанием Fe до 3 мг/л ($ПДК_{х-п} = 0,3$ мг/л). Повышенное содержание Fe в водах оказывает влияние не только на здоровье населения, но и осложняет работу водозаборных скважин, так как при контакте с кислородом Fe^{2+} окисляется и образует гидроокись, которая в свою очередь негативно влияет на состояние фильтров и обсадных труб скважин. Содержание растворённого $C_{орг}$ (РОУ) в подземных водах минимально, среднее значение составляет 1,5 мг/л. Химический состав подземных вод схож с составом поверхностных, т. к. питание пресных подземных вод происходит за счёт инфильтрации атмосферных осадков и притока речных вод.

В условиях потепления климата таяние вечной мерзлоты может провоцировать образование новых термокарстовых озёр и провалов, что способствует выводу органического вещества из торфа в воды озёр и рек. Наличие повышенного содержания органических веществ в водах повлечёт за собой увеличение концентраций в первую очередь Fe, т. к. именно этот элемент обладает наибольшей способностью к образованию органо-минеральных комплексов, способствующих удержанию Fe, а также являющихся хорошими сорбентами для других микроэлементов, которые при высоких концентрациях являются токсичными для живых организмов.

Таблица 1 – Основные гидрохимические параметры подземных вод района г. Нарьян-Мара, мг/л

Параметр	минимум	максимум	среднее
pH	6,3	7,5	6,9
Σ_M	52,2	689,0	181,2
POУ	0,7	3,6	1,5
Cl	2,082	57,331	10,183
SO ₄	1,029	33,066	6,673
Na	2,158	62,940	11,871
K	0,479	8,674	1,705
Ca	6,950	59,594	23,188
Mg	1,992	18,319	5,234
Fe	0,035	2,770	1,001
Mn	0,037	3,069	0,460
Si	2,604	6,011	4,456

Наиболее чувствительными индикаторами изменений химико-экологической обстановки окружающей среды являются микроорганизмы, которые являются важнейшим компонентом любой экосистемы, а их количественные и качественные изменения представляют отдельное значение как для характеристики санитарно-гигиенического, так и экологического состояния экосистем. При оценке загрязнения природных вод используются количественные характеристики таких физиологических групп бактерий как: сапрофиты, сульфатредуцирующие бактерии, железобактерии, а так же микробиологические показатели, связанные с геохимическими циклами биогенных веществ: С, N, P и S.

Для установления разнообразия физиологических групп бактерий был выполнен микробиологический анализ питьевых подземных вод. Исследования микрофлоры природных вод проводились при помощи классических методик, принятых в микробиологии [3–4]. Посев на микробиологический анализ проводился непосредственно после отбора проб. Выявляли различные физиологические группы микроорганизмов геохимических циклов С, N, S, Fe с использованием жидких и твердых питательных сред. Результаты микробиологических анализов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Некоторые физиологические группы бактерий, представленных в арктических природных водах, кл/мл

Физиологические группы бактерий питьевых подземных вод	Скв. 11	Скв. 7	Скв. 1
Копиотрофы (сапрофиты)	3 700	70 610	46 450
Олиготрофы	21 200	129 720	123 320
Индекс олиготрофности	5,8	1,6	2,7
Нефтеокисляющие	390	26 000	51 000
Гетеротрофные железокисляющие	6 700	21 660	50 900
<i>Thiobacillus intermedius</i>	1 420	69 300	2 700

Исследования показали, что микрофлора подземных вод представлена различными физиологическими группами микроорганизмов, осуществляющих деструкцию органических и минеральных веществ: сапрофитами, олиготрофами, нитрифицирующими, сульфатредуцирующими, железокисляющими, нефтеокисляющими бактериями. Наиболее распространёнными в подземных водах по способу питания являются гетеротрофные микроорганизмы: олиготрофы, сапрофиты, нефтеокисляющие.

Для определения аккумуляционно-деструкционных процессов органического вещества в водных средах используют количественные данные по содержанию сапрофитных и олиготрофных микроорганизмов.

К олиготрофным микроорганизмам относятся гетеротрофные бактерии, обладающие способностью развиваться в средах, с низким содержанием органических (менее 1 мг/л) и минеральных веществ. Сапрофитными называются гетеротрофные микроорганизмы, питающиеся органическими веществами отмерших организмов или выделениями живых. Они адаптированы к высоким концентрациям водорастворённого органического вещества в среде, т. е. являются копиотрофами. Биогеохими-

ческая деятельность этих микроорганизмов связана с процессами самоочищения природных сред от различного рода органических веществ, окисление которых осуществляется ими с выделением, прежде всего, CO_2 , что может значительно менять газовый состав природных вод. Одновременное выявление сапрофитов (копиотрофов) и олиготрофов, сравнение их количества показывает степень минерализованности органического вещества в водах. Отношение количества олиготрофов к числу колоний сапрофитов даёт количественный показатель – индекс олиготрофности, по величине которого судят о степени обогащенности местообитания азотсодержащим органическим веществом и интенсивности процессов минерализации этого органического вещества. Индекс олиготрофности характеризует способность экологической системы к самоочищению. Низкая концентрация органического вещества в изученных водах проявилась в количественном преобладании олиготрофов над копиотрофами. Поэтому для всех исследуемых образцов показатель индекса больше единицы, что свидетельствует об активной минерализации органического вещества и способности данной экосистемы к самоочищению. Повышенный индекс олиготрофности в пробе подземной воды скв. № 11 свидетельствует о гидравлической связи между поверхностными и подземными водами, т. к. данная скважина имеет небольшую глубину и расположена на берегу озера.

Особенность состава микрофлоры воды данных скважин состоит в отчётливой их дифференциации по количеству нефтеокисляющих бактерий. Максимально высокая численность этих бактерий характерно для скв. № 1, имеющей гидравлическую взаимосвязь с оз. Казённым, в котором на момент опробования наблюдалось размножение водорослей, сопровождающееся выделением в воду углеродной органики биологического происхождения.

Железоокисляющие бактерии также присутствуют в подземных водах в большом количестве. Количественное их распределение аналогично нефтеокисляющим бактериям. Причина их максимальной численности в скв. № 1 так же связана с «цветением» озера.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 15-17-10009, гранта Президента РФ МК-4984.2016.5, гранта РФФИ № 16-05-0002-мол_а.

1 СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Минздрав России, 2002. 103 с.

2. ГОСТ 18963–73. Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа. М.: Стандартинформ, 2008. 15 с.

3. Герхардт Ф., Мюррей Р., Костилоу Р. и др. Методы общей бактериологии. М.: Мир, 1983. Т. 1. 536 с.

4. Гусев М. В., Минеева Л. А. Общая микробиология. М.: МГУ, 1973. 376 с.

УДК 550.04

БИОСФЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОГЕНЕЗА

В. Б. Кадацкий

Белорусский государственный педагогический университет,
ул. Советская 18, 220030 Минск, Республика Беларусь; v.kadatsky@tut.by

В 1975–1987 гг. в Институте геохимии и геофизики АН БССР под руководством акад. К. И. Лукашева выполнялся широкий спектр программ, в частности, по вопросам биогеохимии, геохимии ландшафтов, поведения технофильных микроэлементов, включая мгновенно возникший фактор миграции чернобыльских радионуклидов. Вместе с тем К. И. Лукашёв постоянно обращался к биосферной тематике, синтезирующей эти результаты и включающей вопросы рационального природопользования. Участие автора статьи в написании совместной с К. И. Лукашёвым монографии «Развитие биосферы в голоцене» [1] способствовало более глубокому проникновению в суть ряда биосферных проблем, включая обостряющее взаимоотношение «природа-общество». Была также осознана необходимость прогнозирования будущего биосферы, поскольку это направление становится всё более актуальным.

Многие исследователи склоняются к идее В. И. Вернадского, что биосфера постепенно сменится ноосферой [2], в которой основная движущая сила перейдёт от живого вещества к разумной деятельности общества. Однако между этими состояниями природы зародился и начал разрастаться переходный этап, получивший название «техносфера». Если в биосфере самой активной геологической