

УДК 535.33:58 574: 54 631.4: 502.76

## **Химико-экологическое состояние района г. Игарка Красноярского края**

**Л.Г. Бондарева<sup>а,б\*</sup>, А.С. Жук<sup>в,г</sup>,  
В.В. Сурсякова<sup>г</sup>, А.И. Рубайло<sup>а,г</sup>,  
Н.И. Тананаев<sup>б</sup>, И.Г. Тананаев<sup>д\*</sup>**

<sup>а</sup>Сибирский федеральный университет,  
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

<sup>б</sup>Игарская геокриологическая лаборатория –  
филиал ФГБУН Институт мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова СО РАН,  
г. Игарка

<sup>в</sup>Центр реализации мероприятий по природопользованию  
и охране окружающей среды Красноярского края,  
Красноярск

<sup>г</sup>Институт химии и химической  
технологии СО РАН,  
Россия 660036, Красноярск, Академгородок 50, стр. 24

<sup>д</sup>ПО «Маяк»,  
г. Озерск

Received 22.09.2012, received in revised form 24.07.2013, accepted 12.08.2013

---

*В ходе химико-экологического мониторинга обстановки в нижнем течении р. Енисей в районе г. Игарки на расстоянии 120 км к северу от Полярного круга с использованием комплекса физико-химических методов исследования в водных объектах обнаружены значительные количества токсических металлов и ряд органических соединений техногенного происхождения. Установлены превышения ПДК для Fe – 67; Hg – 60; Al – 20; Mn – 1,7; Zn – 1,6 и Ni – 1,3 в соответствии с требованиями для рыбохозяйственных водоемов; Fe – 22; Al ~3; Ni и Hg – 1 в соответствии с требованиями для питьевого водоснабжения. Выявлено превышение ПДК для метанола до 600 раз. Полученные результаты позволяют оценить экологическую обстановку в арктическом районе Красноярского края (г. Игарка) как критическую.*

*Ключевые слова: р. Енисей, антропогенные загрязнения, ПДК, арктические районы.*

---

## Введение

Для Севера России экологически опасны отходы от деятельности лесоперерабатывающих предприятий, а также бесхозное оборудование промышленного, геолого-разведочного и военного назначения. При этом доминирующими загрязняющими веществами являются тяжелые металлы и радионуклиды, стойкие органические и кислотные загрязнители, нефтяные углеводороды и др. [1, 2]. Упомянутые объекты, как правило, не учитываются при анализе экологической обстановки района, однако существенно влияют на общую картину загрязнения водных ресурсов. Это особенно касается наиболее уязвимых районов вечной мерзлоты и Арктики в целом, поскольку речные и морские льды считаются важными агентами переноса техногенных загрязнителей с континента в Мировой океан [3, 4]. Поэтому чрезвычайно важна, на наш взгляд, организация химико-экологического мониторинга упомянутых районов с применением современных методов физико-химического анализа. В настоящей статье приведены сведения по изучению химико-экологической обстановки в нижнем течении р. Енисей в районе г. Игарки на расстоянии 120 км к северу от Полярного круга (рис. 1).

## Экспериментальная часть

Пробы воды были отобраны в 2011-2012 гг. из поверхностных водоемов, имеющих различные источники питания, но так или иначе связанных с р. Енисей. Преимущественными источниками питания поверхностных вод в районе исследования являются талые и частично дождевые воды, а также разгружающиеся в постоянную гидросеть воды болотных массивов. Неглубокое залегание кровли коренных пород (туфы и туфобрекчии) в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород способствует активной миграции грунтовых вод по уклону скального водоупора [5]. Области разгрузки подземных вод приурочены к выходам коренного чехла на дневную поверхность и широко распространены в среднем и нижнем течении р. Гравийка, местами – на территории г. Игарки.

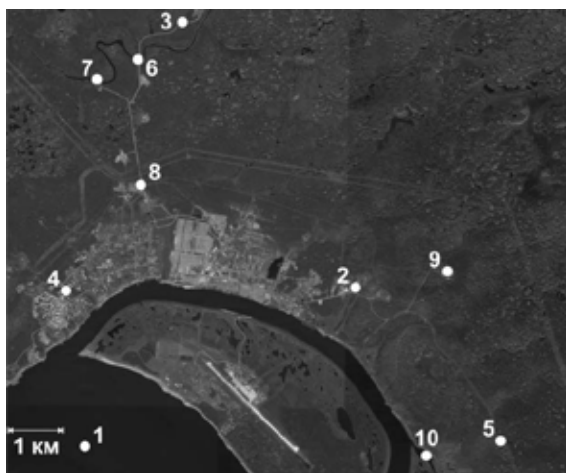


Рис. 1. Карта-схема пунктов отбора проб воды в районе г. Игарки: 1 – фарватер р. Енисей; 2 – склад опилок; 3 – родник; 4 – ручей АЗС; 5 – приток р. Чёрная; 6 – р. Гравийка; 7 – городской водозабор (р. Гравийка); 8 – Норильская геологоразведочная экспедиция (НГРЭ); 9 – тропосферная радиорелейная станция ТРРС 14/104 «Импульс» (в/ч 74233); 10 – устье р. Чёрная

Определение нефтепродуктов в пробах проводили флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02-2м» в соответствии с аттестованными методиками: МУК 4.1.1262-03 и ПНД Ф 14.1.2:4.128-98 [6, 7]. Ранее была разработана методика по определению содержания фенолов и его производных в пробах воды поверхностных водоемов и модельных смесей [8]. Хроматографическое разделение фенолов осуществляли с помощью высокоэффективного жидкостного хроматографа Agilent HPLC 1200 Series (Agilent Technologies, США), колонка Zorbax eclipse XDB\_C18, 4,6 × 150 мм, 5 мкм. Колонку термостатировали при 30 °С. В качестве подвижных фаз использовали смеси водного раствора уксусной кислоты (рН 3,3–3,4) и ацетонитрила. Идентификацию фенолов осуществляли по времени удерживания и УФ-спектрам. Предварительное концентрирование фенолов проводили на патронах ДИАПАК П [9] с последующим элюированием с сорбента ацетоном. Фенолы определяли в ЦКП Красноярского научного центра СО РАН.

Определение метанола в пробах осуществляли методом газовой хроматографии (ГХ) с пламенно-ионизационным детектированием (ПИД) равновесной фазы после извлечения соединений из воды газовой экстракцией при нагревании в замкнутом объеме в соответствии с аттестованной методикой МУК 4.1.650-96 [10], на газовом хроматографе Agilent 6850 А с пламенно-ионизационным детектором и системой для парофазного введения проб, кварцевой колонке с неподвижной фазой SE-54, длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм и толщиной пленки 2,65 мкм (рис. 2). В случае обнаружения одного из определяемых компонентов делали качественный анализ с помощью хромато-масс-спектрометра Thermo Focus ISQ для подтверждения природы найденного вещества (детектируемого пика).

Определение содержания металлов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500a (Agilent

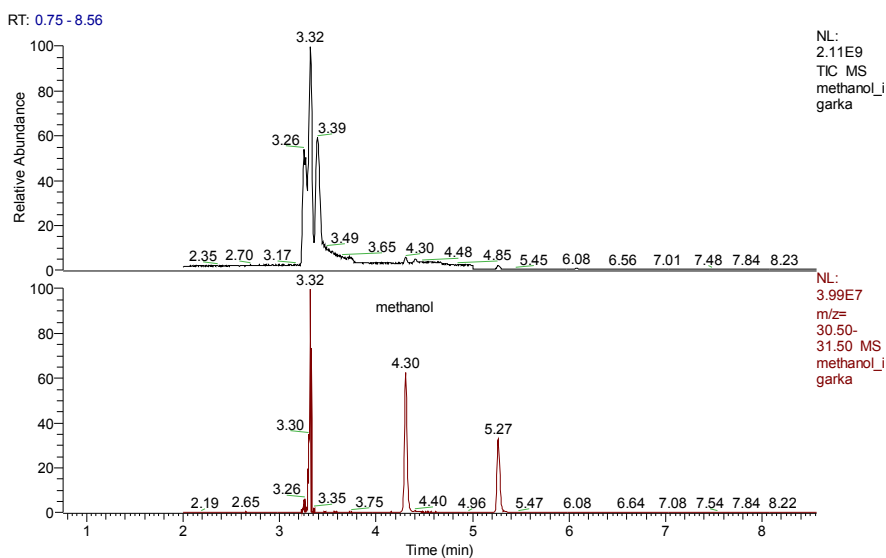


Рис. 2. Хроматограмма пробы воды р. Гравийка (городской водозабор). Прибор: хромато-масс-спектрометр Thermo Focus ISQ. Ввод пробы: purg&trap. Колонка HP-VOC длиной 60 м, с внутренним диаметром 0,32 мм и толщиной пленки неподвижной фазы 0,25 мкм

Technologies, США). Пробы разбавляли в 125 раз раствором  $\text{HNO}_3$  (0,3 мас.%) в деионизированной воде [11].

### Результаты и их обсуждение

В таблице 1 приведены значения содержания нефтепродуктов в исследуемых пробах воды. Особое внимание уделяется пробе, отобранной в притоке р. Черная (пункт отбора № 5). Содержание нефтепродуктов в пробе превышает ПДК для питьевой воды в 27 раз. Источник поступления нефтепродуктов в ручей в настоящее время не выявлен. В пробе, отобранной в районе в/ч 74233, содержание нефтепродуктов в 2,5 раза превышает ПДК. На территории военной части находятся емкости из-под горюче-смазочных материалов, которые разрушаются под воздействием окружающей среды, и остатки содержимого поступают в исследуемый водоем.

При определении содержания метанола были получены результаты, которые указывают на необходимость проведения детализации исследуемого района для выявления источника поступления опасного вещества в водные источники. Это, прежде всего, пункт отбора, относящийся к контрольному участку городского водозабора, р. Гравийка. В этих пробах было зафиксировано 1800 мг/л метанола, что в 600 раз превышает ПДК для питьевых вод (3 мг/л) [12, 13]. В пробах воды в ручье, относящемся к АЗС, содержание метанола было на уровне 4,8 мг/л (~1,5 ПДК).

Известно, что метанол используется в качестве органического растворителя, добавок к жидким топливам для повышения их октанового числа, а также на газовых месторождениях в качестве ингибитора гидратообразования. В сточных водах предприятий целлюлозно-бумажной промышленности может содержаться до 58 г/л метанола, в сточных водах генераторных станций на буром, каменном угле, торфе, древесине – до 5 г/л [15]. Источник поступления метанола в исследуемом районе в настоящее время не выяснен.

В таблице 2 приведены значения содержания фенолов и его производных, определенных в пробах воды, отобранных в районе в/ч 74233, в устье р. Игарка (левобережье р. Енисей) и из родника (пункт отбора № 3). Пробы были предварительно концентрированы на патроне ДИА-ПАК П в соответствии с используемой ранее методикой [9]. Кроме того, содержание фенолов и его производных определялось в пробах без предварительного концентрирования (табл. 2).

В исследуемых пробах содержание фенолов и его производных не превышало значений ПДК и достигало 0,1-0,3 ПДК в соответствии с показателями для питьевой воды [12, 13].

Известно, что в поверхностных водах фенолы могут находиться в растворенном состоянии в виде фенолятов, фенолят-ионов и свободных фенолов. Фенолы в водах могут вступать в реакции конденсации и полимеризации, образуя сложные гумусоподобные и другие довольно устойчивые соединения. В условиях природных водоемов процессы адсорбции фенолов донными отложениями и взвесями играют незначительную роль.

В незагрязненных или слабозагрязненных речных водах содержание фенолов обычно не превышает 20 мкг/л [15-17]. Превышение естественного фона может служить указанием на загрязнение водоемов. Фенолы – соединения нестойкие и подвергаются биохимическому и химическому окислению. Простые фенолы подвержены главным образом биохимическому окислению, убыль фенолов составляет 50-75 % за трое суток. Быстрее всех разрушается собственно фенол, медленнее – крезолы, еще медленнее – ксиленолы. Многоатомные фенолы разрушаются в основном путем химического окисления.

Таблица 1. Результаты определения нефтепродуктов в пробах воды исследуемых водоемов, мг/л. Наименование пунктов отбора приведено в подписи к рис. 1

Пункт отбора	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	ПДК
	0,011	0,017	0,023	0,061	0,1/0,05*
Пункт отбора	№ 5	№ 7	№ 9	№ 10	
	2,7	0,027	0,239	0,015	

\* В числителе дроби – ПДК для питьевой воды [12, 13], в знаменателе дроби – ПДК для воды водных объектов рыбохозяйственного значения [14].

Таблица 2. Содержание фенола в пробах воды нижнего течения р. Енисей, транспортированных в виде жидких проб и с предварительным концентрированием на патронах ДИАПАК П

Номер пробы	Соединение, ПДК, мкг/л			
	Фенол	m-+ п-крезол	2,6-ксиленол	Гваякол, o-крезол, хлорфенолы
	1,0	3,0	100,0	4,0 – 0,4
№ 3	0,011 ± 0,003	0,08 ± 0,02	0,5 ± 0,1	< ПрО
№ 6	0,06 ± 0,01	< ПрО	< ПрО	< ПрО
№ 7	0,16 ± 0,04	0,03 ± 0,01	< ПрО	< ПрО
г. Игарка, водопровод	0,09 ± 0,02	0,015 ± 0,004	< ПрО	< ПрО
Пробы с предварительным концентрированием на патронах ДИАПАК П				
№ 3	0,3 ± 0,1	0,07 ± 0,02	1,1 ± 0,2	< ПрО
№ 9	0,3 ± 0,1	0,13 ± 0,03	0,7 ± 0,1	< ПрО

При проведении исследований было обнаружено, что фенол и его производные в пробах, которые были предварительно концентрированы на патронах ДИАПАК П, сохранились лучше, чем в пробах без концентрирования. Нами была впервые проведена транспортировка фенолов из водных объектов в концентрированном на сорбенте виде. Для транспортировки патрон с концентрированной пробой воды упаковывали в алюминиевую фольгу. До транспортировки хранили в холодильнике при температуре 4 °С. В результате было сделано заключение, что использование патронов предотвратило разрушение фенолов. Таким образом, использование концентрирования фенолов и его производных на сорбирующем материале позволяет удлинить сроки от отбора до анализа проб на содержание фенолов и его производных до 10 сут.

В результате проведения полного элементного анализа исследуемых проб воды были получены следующие результаты (табл. 3). Анализ проб воды на содержание металлов указывает на критическое состояние водного источника, протекающего по заброшенной Норильской геологоразведочной экспедиции (НГРЭ). Обнаружено содержание: Fe – 67 ПДК; Hg – 60 ПДК; Al – 20 ПДК; Mn – 1,7 ПДК, Zn – 1,6 ПДК и Ni – 1,3 ПДК в соответствии с требованиями для рыбохозяйственных водоемов [14] или Fe – 22 ПДК; Al ~3 ПДК; Ni и Hg – 1 ПДК в соответствии с требованиями для питьевого водоснабжения [12, 13]. Источниками поступления этих металлов могут быть процессы химического выветривания кернов горных пород, которые были складированы в кернохранилищах НГРЭ и впоследствии брошены. Из геолого-разведочной

Таблица 3. Содержание некоторых металлов в пробах воды водных источников района г. Игарки

	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	Hg
ПДК, мг/л	0,3/0,04*	0,05/не уст.*	0,1/0,01*	0,3/0,1*	0,02/0,01*	1,0/0,01*	0,0005/ 0,00001*
№ 1	0,013	0,001	0,003	0,4	0,002	0,007	0,00006
№ 5	0,029	0,011	0,027	0,4	0,005	0,004	0,0002
№ 7	0,028	0,002	0,011	0,4	0,004	0,016	0,0001
№ 8	0,8	0,014	0,17	6,7	0,019	0,016	0,0006
№ 9	0,003	0,002	0,0002	1,0	0,005	0,0007	0,0001
№ 10	0,11	0,008	0,005	0,5	0,004	0,023	0,0002

\* В числителе дроби – ПДК для питьевой воды [12,13], в знаменателе дроби – ПДК для воды донных объектов рыбохозяйственного значения [14].

документации известно, что экспедицией опробовались на содержание железа разведочные скважины на правом берегу р. Енисей, которые позволили оконтурить районы, перспективные для промышленной добычи железных руд.

Содержание железа ~1 ПДК вызвано естественным размыванием русловых пород, составляющих дно исследованных источников. Однако в районе в/ч 74233 превышение железа (~3,3 ПДК) связано с коррозией металлических конструкций, оставленных на территории бывшего полигона (антенного поля) и самой части. При этом происходит значительное размывание почв атмосферными осадками и талыми водами, что приводит к интенсивному поступлению как растворимых соединений железа, так и железа в виде взвешенных частиц в водные источники бассейна р. Енисей.

Под воздействием значительных сезонных перепадов температур и условий вечной мерзлоты происходит медленное, но постоянное разрушение остатков деятельности человека. Кроме того, на хозяйственно освоенных территориях вокруг г. Игарки отчетливо проявляется тенденция к деградации вечномерзлых толщ, связанная не с потеплением климата, а с активным влиянием техногенеза. Она проявляется в образовании и увеличении техногенных таликов, в активизации опасных криогенных процессов. Происходит снижение несущей способности замороженных фундаментов, активизируется криогенное выветривание подземных конструкций. Все это уменьшает надежность оснований, увеличивает деформационный потенциал объектов.

### Выводы

Экологическое состояние в арктическом районе Красноярского края в целом и природных объектов г. Игарки в частности можно определить как критическое, последствия которого могут иметь крайне негативный результат для жизнедеятельности упомянутых территорий. Масштаб антропогенного воздействия локальный, с выносом загрязненных вод в акваторию р. Енисей. Причина загрязнений – утечки остатков нефтепродуктов и горюче-смазочных веществ при коррозии металлических емкостей, накопившихся за десятилетия эксплуатации аэропорта и энергетического хозяйства, жилищно-коммунальное хозяйство, не располагающее достаточными средствами очистки сточных вод, действие теплостанции. Исследуемые водные

источники в настоящее время не могут быть использованы для рыбохозяйственных и народно-хозяйственных нужд.

### Список литературы

1. Арктика на пороге третьего тысячелетия: (ресурсный потенциал и проблемы экологии) / гл. ред.: И. С. Грамберг, Н. П. Лаверов; отв. ред. Д. А. Додин. СПб. : Наука, 2000. 247 с.
2. Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сборник научных трудов/ отв. редактор П.А.Феклистов. Архангельск: изд-во С(А)ФУ, 2011. Вып. 14. 131 с.
3. Rachold V., Eicken H., Gordeev V.V. et al., 2003. Modern terrigenous organic carbon input to the Arctic Ocean. In: Stein R. and Macdonald R.W. (Eds.). Organic).
4. Holmes R.M., Peterson B.J., Kosmenko L.S. et al., 2001. Nutrient chemistry in the Ob' and Yenisey rivers, Siberia: result from June 2000 expedition and evaluation of long-term data sets. *Marine Chemistry*. V. 75. P. 219–227.
5. Григорьев Н. Ф. Мерзлотно-гидрогеологические особенности района г. Игарки. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1992. 56 с.
6. Методические указания МУК 4.1.1262-03 «Измерение массовой концентрации нефтепродуктов флуориметрическим методом в пробах питьевой воды и воды поверхностных и подземных источников водопользования» 01.09.2003 г.
7. Методика выполнения измерений ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» 21.08.2007 г.
8. Сурсякова В.В., Бурмакина Г.В., Рубайло А.И. Разработка методик определения фенолов в питьевой и природной водах методами капиллярного электрофореза и высокоэффективной жидкостной хроматографии// Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2010. №3. С. 268-277.
9. Васяров Г.Г., Алексеева Г.С. Концентрирующие патроны ДИАПАК. Вып. 2. 56 с.
10. Методические указания МУК 4.1.650-96 «Методические указания по газохроматографическому определению ацетона, метанола, бензола, толуола, этилбензола, пентана, о-, м-, п-ксилола, гексана, октана и декана в воде» 31.10.1996 г.
11. Bondareva L., Zhizhaev A. Radiation-Chemical Situation of the waters of the middle reach of the River Yenisei (Russian Federation) *Journal of Environmental Science and Engineering* Volume 4, Number 9, September 2010 (Serial Number 34). P. 1-11.
12. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав РФ, 2002. 104 с.
13. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав РФ, 2007. 104 с.
14. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010 г. М.: ВНИРО, 2010. 153 с.

15. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде: Пер. с англ. М.: Мир, 1982.
16. Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. М.: Высшая школа, 1994.
17. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши./ Под ред. А.Д. Семёнова. Л.: Гидрометеониздат, 1977.
18. Шапарев Н. Я., Астафьев Н. Н. Водные ресурсы Красноярского края в показателях устойчивого развития// [Электронный ресурс] Исследовано в России. 2006. С. 780–789.

## **Chemical and Ecological Status of the District Igarka Krasnoyarsk Territory**

**Lydia G. Bondareva<sup>a,b</sup>, Anna S. Zhok<sup>c,d</sup>,  
Viktoria V. Sursyakova<sup>d</sup>, Anatoly I. Rubaylo<sup>a,d</sup>,  
Nikita I. Tananaev<sup>b</sup> and Ivan G. Tananaev<sup>e</sup>**

*<sup>a</sup>Siberian Federal University,  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

*<sup>b</sup>Igarka Permafrost Laboratory –  
Branch Permafrost Melnikov's Institute, SB RAS,  
Igarka*

*<sup>c</sup>Center for the Implementation of activities on nature  
and the environment of the Krasnoyarsk Territory,  
Krasnoyarsk*

*<sup>d</sup>Institute of Chemistry and Chemical Technology  
SB RAS,*

*50-24 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

*<sup>e</sup>PO Mayak,  
Ozersk*

---

*Was investigated chemical-ecological status of surface waters in the vicinity of Igarka using a mix of physical and chemical methods. In the water bodies have been found significant amounts of toxic metals and some organic compounds of anthropogenic origin. Were set for the maximum permissible concentration: Fe – 67; Hg – 60; Al – 20; Mn – 1,7; Zn – 1,6 and Ni – 1,3 in accordance with the requirements for fishery waters; Fe – 22; Al ~ 3 ; Ni and Hg – 1 in accordance with the requirements for drinking water. Revealed excess of MPC for methanol to 600 times. The obtained results allow us to assess the environmental situation in the Arctic region of Krasnoyarsk Territory (Igarka) as critical.*

*Keywords: River Yenisei, man-made pollution, Arctic areas.*

---