



Мониторинг состояния почвы, воздуха, воды

УДК 502.3+502.5, 349.6

DOI: 10.25514/CHS.2021.2.20011

Оценка уровня химико-экологической безопасности арктических территорий Центральной Сибири – Красноярский край

Л. Г. Бондарева✉

Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Мытищи, Россия, e-mail: lydiabondareva@gmail.com

Поступила в редакцию: 23.07.2021 г.; после доработки: 04.10.2021 г.; принята в печать: 07.10.2021 г.

Аннотация – Экологическое состояние Арктической территории Красноярского края определено как критическое, последствия которого будут иметь негативный результат на экосистему в целом и, следовательно, на здоровье населения в том числе. Заброшенные геологические и военные объекты ввиду своей ветхости, рассматриваются как дополнительный и, порой, существенный источник загрязнений. Приведены данные содержания основных загрязнителей в водных объектах Красноярского края. Проведены расчеты коэффициентов загрязненности воды участка нижнего течения реки Енисей. Полученные результаты показывают, что поверхностные водные объекты, протекающие по северным территориям, не могут быть использованы в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Ключевые слова: территории Арктической зоны, химико-экологическая безопасность, Сибирь, вода

Monitoring soil, air, water status

UDC 502.3+502.5, 349.6

DOI: 10.25514/CHS.2021.2.20011

Assessment of the level of chemical and ecological safety of the arctic territories of Central Siberia - Krasnoyarsky Krai

Lydia G. Bondareva✉

Federal Scientific Centre of Hygiene named after F.F. Erisman, Moscow region, Russia
e-mail: lydiabondareva@gmail.com

Received: July 23, 2021, Revised: September 4, 2021, Accepted: October 7, 2021

Abstract – The ecological state of the Arctic territory of the Krasnoyarsk Region is defined as critical, the consequences of which will have a negative result for the ecosystem as a whole and, therefore, for the health of the population as well. Abandoned geological and military facilities, due to their dilapidation, are considered as an additional and, at times, a significant source of pollution. The data on the content of the main pollutants in the water bodies of the Krasnoyarsk Territory are presented. Calculations of water pollution coefficients in the lower reaches of the Yenisei River

have been carried out. The results obtained show that surface water bodies flowing through the northern territories cannot be used as a source of drinking water supply.

Keywords: territories of the Arctic zone, chemical and environmental safety, Siberia, water

ВВЕДЕНИЕ

Арктические территории составляют значительную часть суши Российской Федерации [1, 2]. Экономическое развитие этих территорий обусловлено современными реалиями и основывается на указе Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». Правовую основу вышеуказанной Стратегии составляют:

- Конституция Российской Федерации, Федеральный закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»,
- Стратегия национальной безопасности Российской Федерации,
- Концепция внешней политики Российской Федерации,
- Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации,
- Основы государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года,
- Указы Президента Российской Федерации:
 - от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации»,
 - от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»
 - от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

Проблемы окружающей среды стоят во главе угла при освоения полярных районов. Арктика – один из самых уязвимых для любого воздействия регионов мира, а потому любая хозяйственная деятельность здесь должна вестись чрезвычайно бережно и с учетом ее возможных экологических последствий [2–5].

Северные территории Красноярского края интенсивно осваиваются в течение XX–XXI веков, это – и лесоперерабатывающая, и горнодобывающая промышленности, и др. Особое место занимает проведение девяти подземных ядерных взрывов, которые проводились в толще вечной мерзлоты в мирных целях [6]. В виду всеобщего потепления климата происходит и таяние вечной мерзлоты. Следовательно, возникает проблема в выносе радиоактивных веществ, образованных в результате этих взрывов, и их распространение в окружающей среде на значительные территории.

С учетом интенсивного развития нефтегазовой добычи на северных территориях региона Центральной Сибири в последнее время, обостряется проблема нефтяного загрязнения территорий [7, 8].

На Арктических территориях проживает как оседлое население, так и жители, работающее вахтовым методом. Поэтому оценка рисков здоровью населения всех категорий, в особенности при воздействии некачественной

питьевой воды, является основополагающей задачей, как региональной, так и государственной политики [9–12].

Цель статьи: по результатам мониторинговых исследований оценить уровень химико-экологической безопасности Арктических территорий Красноярского края.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты и методы

Пробы воды отобраны в 2011–2017 гг. в летне-осеннюю межень в соответствии с нормативными документами [13, 14] из поверхностных водных объектов, имеющих различные источники питания, в прямом, либо косвенном виде связанных с рекой Енисей. Основные источники питания поверхностных водоемов в районе исследования – талые и частично дождевые воды, а также разгружающиеся в гидросеть воды верховых и низинных болот, образующие болотные массивы [15]. Области разгрузки подземных вод приурочены к выходам на дневную поверхность и распространены на некоторых притоках в северных территориях Красноярского края.

Определение нефтепродуктов, фенолов, метанола и металлов в пробах воды проводили по методикам, описанным в [16], там же приведен пример хроматограммы, полученный при анализе пробы воды на содержание метанола.

Пробы воды измеряли на содержание гамма-излучающих радионуклидов (^{40}K , ^{60}Co , ^{137}Cs , изотопов ^{152}Eu , ^{241}Am и др.) гамма-спектрометрическим методом с использованием спектрометра фирмы Canberra (США) с детектором из сверхчистого германия (HPGe), позволяющим измерять гамма-спектр в диапазоне энергии от 30 до 3000 кэВ с разрешением 2 кэВ и регистрировать радионуклиды в пробах жидких и твердых фракций без дополнительной подготовки [17].

Карта-схема пунктов отбора проб воды в районе г. Игарки приведена в [16].

Статистическую обработку результатов количественного химического и токсикологического анализов проводили с использованием методов кластерного, факторного и регрессионного анализа с помощью программного продукта STATISTICA 6,0 [18, 19]. Достоверность полученных результатов оценивали с использованием коэффициента Стьюдента ($p < 0,05$) [18, 19].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 приведены данные по содержанию химических элементов в пробах воды реки Енисей (нижнее течение).

Представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о постоянном поступлении в поверхностные водоемы на исследуемых территориях химических веществ, в результате разрушения под воздействием внешних условий брошенных металлоконструкций и других объектов.

Таблица 1. Содержание химических элементов в пробах воды реки Енисей – нижнее течение, отбор 2011-2017 г., (среднее значение, мкг/л), n^{*}=120, p^{**}=0,95**Table 1.** Content of chemical elements in water samples from the Yenisei River - downstream, sampling 2011-2017, (average value, µg / l), n = 120, p = 0.95

Элемент	Содержание, мкг/л	Элемент	Содержание, мкг/л	Элемент	Содержание, мкг/л
Na	700–6000 (5400)	K	1300–1500 (1450)	Zn	3–700 (638)
Mg	1500–8000 (6800)	V	1–5 (3,8)	As	0,2–7,0 (5,3)
Al	10–80 (67)	Cr	0,9–10,0 (7,9)	Se	2–30 (17)
Si	1000–9000 (7450)	Mn	18–200 (153)	Sr	120–600 (480)
P	50–1500 (1250)	Co	0,2–4,0 (3,2)	Hg	0,04–0,6 (0,54)
S	3000–80000 (64000)	Ni	1–11 (9,7)	Pb	0,09–3,7 (2,5)
Cl	1000–80000 (71000)	Cu	3–32 (28)	U	1,2–3,9 (2,4)

*n – количество исследуемых образцов,

**p – доверительная вероятность, в данном случае 95%

В таблице 2 представлены результаты исследований содержания металлов в воде притоков реки Енисей (р. Черная, р. Гравийка,) также относящихся к исследуемой территории.

Таблица 2. Содержание некоторых металлов в пробах воды поверхностных водоемов района г. Игарка (2011-2017 гг.), n=80, p=0,95**Table 2.** Content of some metals in water samples from surface water bodies of the Igarka area (2011-2017), n = 80, p = 0.95

Пункты отбора*	Содержание, мкг/л					
	Al	Mn	Fe	Ni	Zn	Hg
ПДК	300	100	300	20	1000	0,5
№ 1	13±1	3,00±0,15	400±20	2,0±0,1	7,0±0,4	0,06±0,01
№ 5	29,0±1,5	27,0±1,4	400±20	5,0±0,3	4,0±0,2	0,2±0,1
№ 7	28,0±1,4	11±1	400±20	4,0±0,2	16,0±0,8	0,1±0,1
№ 8	800±40	170±9	6700±335	20±1	16,0±0,8	0,6±0,1
№ 9	3,0±0,2	2,0±0,1	1000±50	5,0±0,3	0,07±0,01	0,1±0,1
№ 10	110±6	5,0±0,3	500±25	4,0±0,2	23,0±1,2	0,2±0,1

*1 – фарватер р. Енисей; 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.

Анализ проб воды на содержание металлов указывает на критическое состояние водного источника, протекающего вблизи заброшенной Норильской геологоразведочной экспедиции (НГРЭ) (табл. 2).

Обнаружено, что содержание трех металлов, превышает гигиенические требования к водным объектам хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [20]: Fe – до 22 ПДК; Al – до 3 ПДК. Содержание Hg незначительно превышает ПДК.

Считается, что одним из возможных источников поступления аномальных концентраций Fe, Al, Hg и других выявленных металлов могут быть процессы, связанные с геохимическими реакциями, протекающими при воздействии добытых и оставленных на поверхности горных пород с окружающей средой.

Источниками поступления этих металлов могут быть процессы химического выветривания кернов горных пород, которые были складированы в кернохранилищах НГРЭ и впоследствии брошены.

Повышенное содержание железа также объяснимо, во-первых, именно с точки зрения геохимических процессов, связанных, прежде всего, с естественным вымыванием русловых пород, составляющих русловое дно изученных притоков реки Енисей. И во-вторых, брошенные под открытым небом металлоконструкции в результате естественной коррозии, также являются источником поступления железа в водные источники.

На рисунке 1 приведены значения содержания нефтепродуктов в исследуемых пробах воды. Из представленных данных особое внимание обращают на себя, результаты по образцам воды, отобраным в пункте отбора № 5 (река Черная). Содержание нефтепродуктов в пробах превышает ПДК для питьевой воды в 27 раз. Источник поступления нефтепродуктов в настоящее время не установлен. В пробах пункта отбора № 9 содержание нефтепродуктов превышает в 2,5 раз ПДК [20]. В этом случае достоверно установлен источник поступления – это наружные и вкопанные в землю емкости для горюче-смазочных материалов, которые под воздействием климатических условий разрушаются. Это приводит к тому, что остатки содержимого поступают в протекающий по участку водоем.

Результаты анализа образцов воды, отобранных из исследуемых притоков реки Енисей на содержание метанола, указали на необходимость проведения детального исследования региона с целью выявления источника поступления опасного вещества в водные объекты, в том числе и в объекты, используемые для городского водозабора в хозяйственно-питьевых целях. Зафиксировано 180 мг/л метанола в воде реки Гравийка, что в 60 раз больше ПДК для водных источников, используемых для питьевого водоснабжения (3 мг/л [20]). Также установлено превышение содержания метанола в 1,6 раз в ручьях, протекающих по территории АЗС.

Содержание радионуклидов во всех исследуемых пробах воды не превышало фоновых значений для поверхностных водных источников Северного полушария [21].

В исследуемых пробах воды всех изученных водных источников содержание фенолов не превышало значений ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и составляло 0,1 – 0,3 ПДК.

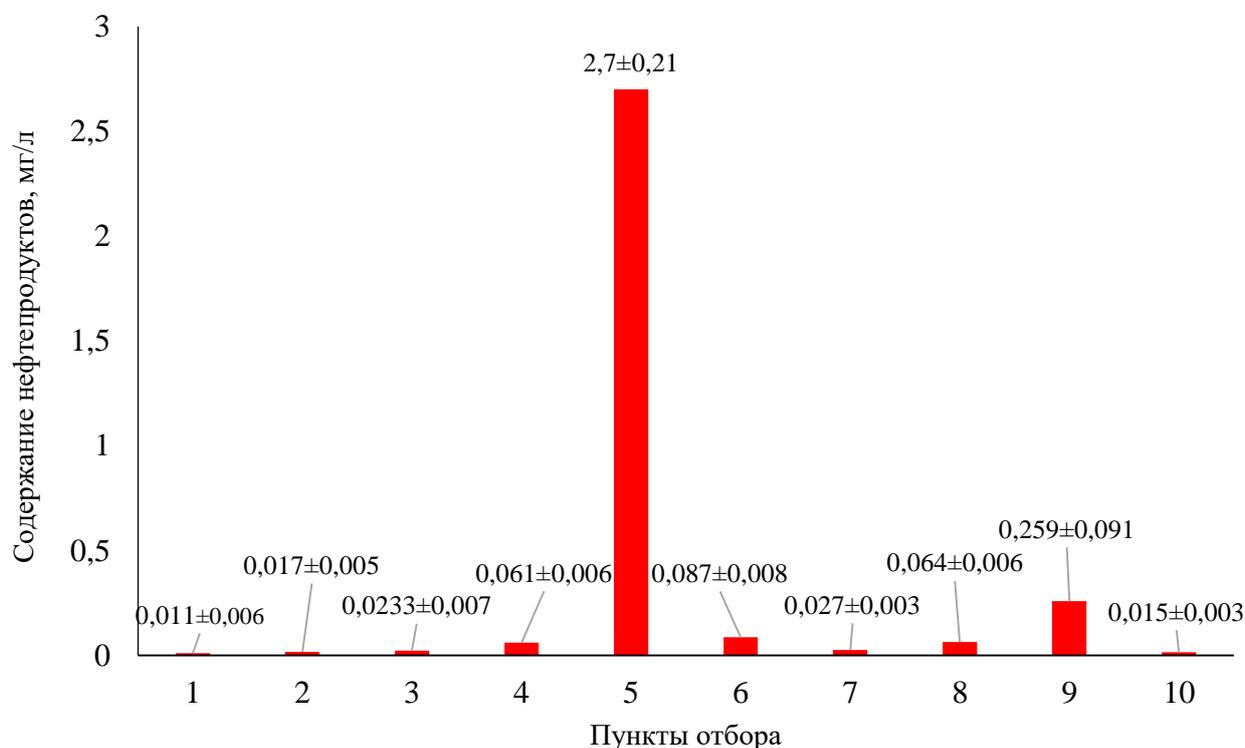


Рис. 1. Сравнительная диаграмма содержания нефтепродуктов в пробах воды исследуемых водоемов, $n=50$, $p=0,95$. Пункты отбора: 1 – фарватер р. Енисей; 2 – склад опилок; 3 – родник; 4 – ручей АЗС; 5 – р. Чёрная; 6 – р. Гравийка; 7 – городской водозабор (р. Гравийка); 8 – Норильская геологоразведочная экспедиция (НГРЭ); 9 – Тропосферная радиорелейная станция ТРРС 14/104 «Импульс» (в/ч 74233); 10 – устье р. Чёрная.

ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования 0,1 мг/л [20],
ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения 0,05 мг/л [22]

Fig. 1. Comparative diagram of the content of oil products in water samples from the studied reservoirs, $n = 50$, $p = 0.95$. Sampling points: 1 – fairway r. Yenisei; 2 – sawdust warehouse; 3 – spring; 4 – petrol station stream; 5 – r. Black; 6 – r. Gravel; 7 – city water intake (Graviyka river); 8 – Norilsk exploration expedition (OGRE); 9 – Tropospheric radio relay station TRRS 14/104 “Impulse” (military unit 74233); 10 – the mouth of the river. Black.

MPC for household and drinking and cultural and household water use 0.1 mg / l [20],
MPC for water bodies for fishery purposes 0.05 mg / l [22]

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Качество природных вод, используемых человеком, является одним из определяющих факторов его нормальной жизнедеятельности. На основании разработанных и утвержденных рекомендаций Росгидромета [23, 24], применяется математический аппарат для оценки опасности токсичности загрязнения по химическим показателям. Для этого используются данные мониторинга состояния водных источников, на основании которых разрабатываются критерии оценки уровня токсического загрязнения с учетом класса опасности выявленных загрязнителей.

При этом ранжирование проводится, как по отдельным группам веществ, так и по всей их сумме, а для отнесения к рангам токсического загрязнения используются наиболее жесткие параметры превышений нормативов ПДК.

Метод по суммарным коэффициентам загрязненности воды используется для расчетов комплексных показателей загрязненности и основывается на расчетах различных коэффициентов загрязненности воды [24]:

- по сумме кратности превышения величин концентраций токсичных загрязняющих веществ по отношению к их ПДК;
- по сумме кратности превышения величин концентраций токсичных загрязняющих веществ по отношению к их максимальным фоновым величинам в данном регионе, если ПДК превышены даже в фоновом створе.

Для каждого загрязнителя рассчитывается свой коэффициент загрязненности (Y_i):

$$Y_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация i -го компонента состава загрязнения, мг/л,
 ПДК_i – ПДК i -го компонента состава загрязнения, мг/л.

Далее рассчитывают суммарный коэффициент загрязненности $Y_{\text{сум}}$ для всех токсичных загрязняющих веществ, обнаруженных в воде в результате химического анализа, используя формулу:

$$\Sigma Y_{\text{сум}} = \Sigma \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \quad (2)$$

Показателем экологической опасности является превышение коэффициентов загрязненности по сравнению с фоновым участком более чем в 30 раз [24].

На основании данных по содержанию основных загрязнителей в воде (таблица 1) и используя предложенные в Рекомендациях [24] формулы 1 и 2, проведены расчеты коэффициентов загрязненности воды участка нижнего течения реки Енисей (таблица 3), которая протекает по Арктической и Приарктической территориям Красноярского края.

По результатам проведенных расчетов сделано следующее заключение. Вода реки Енисей в нижнем течении является умеренно токсичной (загрязненной), так как сумма загрязняющих веществ, относящихся к 1 и 2 классу опасности, составляет 2,086 ПДК, а сумма загрязняющих веществ 3 и 4 класса опасности – 16,1328.

В виду того, что рассчитанный суммарный коэффициент загрязненности составляет 18,219, что является ниже критического значения 30, можно заключить, что для реки Енисей в нижнем течении и прилегающим притокам острая экологическая опасность отсутствует. Однако при этом содержание некоторых веществ превышает установленные ПДК. Следовательно, эти водные ресурсы в настоящий момент не могут быть рассмотрены как источники питьевого водоснабжения.

Таблица 3. Коэффициенты загрязненности воды на участке нижнего течения реки Енисей и прилегающим притокам**Table 3.** *Coefficients of the water pollution level in the section of the lower reaches of the Yenisei River*

Компонент	ПДК, мг/л	КО*	Содержание, мг/л	Y _i
As	0,01	1	0,0053	0,53
Cu	1,0	3	0,0028	0,0028
Mn	0,01	4	0,153	15,3
Co	0,1	2	0,0032	0,032
Ni	0,01	3	0,0097	0,097
Cr	0,07	3	0,002	0,02
Zn	0,01	3	0,005	0,5
Hg	0,0005	1	0,00054	1,08
Pb	0,006	2	0,0025	0,42
Растворимые соединения урана	0,1	2	0,0024	0,024
Хлориды (общие)	300	4	64	0,213
Суммарный коэффициент загрязненности				18,219

*класс опасности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных многолетних наблюдений за состоянием водных источников нижнего течения реки Енисей, протекающих по Арктической и Приарктической территориям Красноярского края было установлено следующее:

- экологическое состояние арктической территории Красноярского края определено как критическое, последствия которого будут иметь негативный результат для здоровья населения, проживающего постоянно или вахтовым методом на исследуемых территориях;
- заброшенные геологические и военные объекты в виду своей ветхости, рассматриваются как дополнительный и, порой, существенный источник загрязнений;
- поверхностные водоемы, протекающие по северным территориям, не могут быть использованы в качестве источника питьевого водоснабжения.

Следовательно, необходима разработка мер по улучшению ситуации с питьевой водой в системах водоснабжения населенных пунктов, располагаемых в нижнем течении реки Енисей [25, 26].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке отраслевой программы Роспотребнадзора (фундаментальные исследования).

ACKNOWLEDGEMENT

The work was supported by Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rosпотребнадзор) – (Fundamental investigation).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS:

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы:

1. *Арктический регион. Проблемы международного сотрудничества.* Хрестоматия в 3-х томах. Рос. совет по межд. делам. Ред: Иванов, И.С.. (2013). М.: Аспект Пресс.
2. Котова Е.И., Коробов В.Б., Павленко В.И. (2018). Экстремальные загрязнения на территории Арктической зоны Российской Федерации: случаи и анализ. *Проблемы региональной экологии.* 12, 67–72.
3. Лексин В.Н., Порфирьев Б.Н. (2017). Социально-экономические приоритеты устойчивого развития Арктического макрорегиона России. *Экономика региона.* (13), 985–1001.
4. Израэль Ю.А., Павлов А.В., Анохин Ю. А. и др. (2006). Статистические оценки динамики изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории Российской Федерации. *Метеорология и гидрология.* 5, 27–38.
5. Твейдтел С. и др. ЮНЕП предупреждает, что Арктика становится все более уязвимой. Полярный отдел GRID News. 13.08.2012. <http://www.grida.no/polar/news/2449.aspx> (дата обращения 03.06.2021).
6. Справка о подземных ядерных взрывах, проведенных в промышленных (мирных) целях на территории Красноярского края в 1975–1982 гг.: *Фондовые материалы ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае»* (1994). Красноярск.
7. Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рыжкова С.В. (2019) Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века. *Вестник Российской Академии Наук.* 89, 1095–1104.
8. Злобин А. Крупнейшая катастрофа в Арктике: что известно о разливе топлива под Норильском. 04.06.20. <https://www.forbes.ru/obshchestvo-photogallery/402193-krupneyshayakatastrofa-v-arktike-cto-izvestno-o-razlive-topliva>. (дата обращения 04.06.2021).
9. Авалиани С.Л., Безпалько Л.Е., Бобкова Т.Е. и др. (2013). Перспективные направления развития методологии анализа риска в России. *Гигиена и санитария.* 1, 33–35.
10. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития. Под общ. ред. Онищенко Г.Г., Зайцевой Н.В. (2014). Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т.
11. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Землянова М.А. (2015). Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания. *Гигиена и санитария.* 2, 109–113.
12. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л. и др. (2015). Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. *Анализ риска здоровью.* 10, 4–11.
13. ГОСТ Р 59024–2020. Вода. Общие требования к отбору проб
14. ГОСТ Р 51593–2000. Вода питьевая. Отбор проб
15. Григорьев Н. Ф. (1992). Мерзлотно-гидрогеологические особенности района г. Игарки. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН.

16. Л.Г. Бондарева А.С., Жук В.В., Сурсякова А.И., Рубайло Н.И., Тананаев И.Г. (2013). Химико-экологическое состояние района г. Игарка Красноярского края. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry* 3, 313–320. <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/9975/Bondareva.pdf?sequence=1>
17. Bondareva, L., Zhizhaev, A. (2010). Radiation-Chemical Situation of the waters of the middle reach of the River Yenisei (Russian Federation) *Journal of Environmental Science and Engineering*. 4, 1–11.
18. Боровиков В.П. (2003). STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб.: Питер.
19. Рубан А.И. (2004). Методы анализа данных: учеб. пособие, 2-е. изд., исправ. и доп. Красноярск: ИПЦ КГТУ.
20. ГН 2.1.5.2280–07 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения №1 к ГН 2.1.5.1315–03». <http://docs.cntd.ru/document/902068765> (дата обращения 05.06.2021)
21. Носов А.В., Крылов А.Л., Киселев В.П., Казаков С.В. (2010). *Моделирование миграции радионуклидов в поверхностных водах*. Под ред. Арутюняна Р. В. Москва Наука.
22. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98704/ (дата обращения 06.06.2021)
23. РД 52.24.309–2016. Руководящий документ «Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши» Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2016 г.
24. Р 52.24.756-2011. Рекомендации «Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения)» Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2011 г.
25. Горяев Д.В., Тихонова И.В., Торотенкова Н.Н. (2016). Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риска для здоровья населения Красноярского края. *Анализ риска здоровью*. 3, 35–42.
26. Дударев А.А., Одланд Й.О. (2017). Здоровье человека в связи с загрязнением Арктики – результаты и перспективы международных исследований под эгидой АМАП. *Экология человека*. 9, 3–14.

References:

1. *Arctic region. International cooperation problems*. Reader in 3 volumes. Grew up. advice on int. business. Edited by I.S. Ivanov. (2013). М.: Aspect Press.
2. Kotova, E.I., Korobov, V.B., & Pavlenko, V.I. Extreme pollution in the Arctic zone of the Russian Federation: cases and analysis. *Regional ecology problems*. 2018; 12: 67–72.
3. Leksin, V.N. & Porfiriev, B.N. (2017). Socio-economic priorities for sustainable development of the Arctic macro-region of Russia. *Economy of the region*. (13), 985–1001.
4. Izrael, Yu.A., Pavlov, A.V., Anokhin, Yu.A et al. (2006). Statistical assessments of the dynamics of changes in climate elements in permafrost regions on the territory of the Russian Federation. *Meteorology and Hydrology*. 5, 27–38.
5. Tweidtel, S. et al. UNEP warns that the Arctic is becoming increasingly vulnerable. Polar Division GRID News. 13.08.2012. <http://www.grida.no/polar/news/2449.aspx> (accessed 06.03.2021).
6. Information about underground nuclear explosions carried out for industrial (peaceful) purposes on the territory of the Krasnoyarsk Territory in 1975–1982: Stock materials of the FGUZ “Center for Hygiene and Epidemiology in the Krasnoyarsk Territory” (1994). Krasnoyarsk.

7. Kontorovich, A.E., Burshtein, L.M., Livshits, V.R., & Ryzhkova, S.V. (2019) The main directions of development of the oil complex of Russia in the first half of the XXI century. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 89.1095–1104.
8. Zlobin, A. The largest disaster in the Arctic: what is known about the fuel spill near Norilsk. 04.06.20. <https://www.forbes.ru/obshchestvo-photogallery/402193-krupneyshayakatastrofa-v-arktike-cto-izvestno-o-razlive-topliva>. (accessed 06.04.2021).
9. Avaliani, S.L., Bezpalko, L.E., Bobkova, T.E. et al. (2013). Promising directions for the development of risk analysis methodology in Russia. *Hygiene and sanitation*. 1, 33–35.
10. Analysis of health risk in the strategy of state socio-economic development. Under total. ed. Onishchenko, G.G., Zaitseva, N.V. (2014). Perm: Publishing house Perm. nat. issled. polytechnic un-that.
11. Zaitseva, N.V., Ustinova, O.Yu., & Zemlyanova, M.A. (2015). Medical and preventive technologies for managing the risk of health disorders associated with the impact of environmental factors. *Hygiene and sanitation*. 2, 109–113.
12. Rakhmanin, Yu.A., Novikov, S.M., Avaliani, S.L. et al. (2015). Modern problems of assessing the risk of the impact of environmental factors on public health and ways to improve it. *Health risk analysis*. 10, 4–11.
13. GOST 59024-2020: Water. General requirements for sampling
14. GOST R 51593-2000. Drinking water. Sample selection
15. Grigoriev, N.F. (1992). Permafrost and hydrogeological features of the Igarka area. Yakutsk: Publishing house of IMZ SB RAS.
16. Bondareva, L.G., Zhokc, A.S., Sursyakova, V.V., Rubaylo, A.I., Tananaev, N.I., & Tananaev, I.G. (2013) Chemical and Ecological Status of the District Igarka Krasnoyarsk Territory. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry* 3, 313–320. <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/9975/Bondareva.pdf?sequence=1>
17. Bondareva, L. & Zhizhaev, A. (2010). Radiation-Chemical Situation of the waters of the middle reach of the River Yenisei (Russian Federation) *Journal of Environmental Science and Engineering*. 4, 1–11.
18. Borovikov, V.P. (2003). STATISTICA. The Art of Computer Data Analysis: For Professionals. SPb.: Piter.
19. Ruban, A.I. (2004). Data analysis methods: textbook allowance, 2nd. ed., corrected and add. Krasnoyarsk: IPC KSTU.
20. GN 2.1.5.2280-07 “Maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in water of water bodies of household, drinking and cultural and household water use. Additions and changes No. 1 to GN 2.1.5.1315-03”. <http://docs.cntd.ru/document/902068765> (accessed 06.06.2021)
21. Nosov, A.V., Krylov, A.L., Kiselev, V.P., & Kazakov S.V. (2010). *Modeling the migration of radionuclides in surface waters*. Ed. Harutyunyan R.V. Moscow Science.
22. Order of the Federal Agency for Fishery of 18.01.2010 No. 20 on the approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98704/ (accessed 06.06.2021)
23. RD 52.24.309–92. (1992). Organization and carrying out of routine observations of pollution of surface waters of land on the network of Roskomhydromet: method decree. Protection of Nature. Hydrosphere. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992.
24. R 52.24.756-2011. Recommendations “Criteria for assessing the hazard of toxic pollution of surface land waters in emergency situations (in cases of pollution)” Rostov-on-Don, 2011
25. Goryaev, D.V., Tikhonova, I.V., & Torotenkova, N.N. (2016). Hygienic assessment of drinking water quality and health risks for the population of the Krasnoyarsk Territory. *Health risk analysis*. 3, 35–42.

26. Dudarev, A.A. & Odland, Y.O. (2017). Human health in connection with the pollution of the Arctic – the results and prospects of international research under the auspices of АМАР. *Human ecology*. 9, 3–14.