

Риск оценки соответствия качества воды установленным требованиям

Р. А. Белоусов^{1, 2}, А. А. Назарова, к. х. н.², О. М. Розенталь, д. т. н.³

УДК 543.3+543.08

Стандартные правила оценки показателей качества природной воды предусматривают проведение измерений с погрешностью, которая часто соизмерима с абсолютным значением контролируемой величины. Вследствие этого возникают риски ошибочной оценки соответствия/несоответствия природной воды установленным требованиям безопасности и качества. Предложена простая методика количественного исследования такого риска. Показано, что его максимальный уровень ограничен 50%, когда управленческие решения принимаются в условиях полной неопределенности. Предложен способ учета рассматриваемых рисков при разрешении спорных ситуаций на основе имеющихся доказательств.

Ключевые слова: показатель качества природной воды, норматив погрешности измерений, оценка соответствия, методика измерений, неопределенность результата измерений

Нормирование и оценка показателей качества природной воды являются основой принятия управленческих решений, упорядочивающих рыночные отношения [1]. Однако при этом необходим корректный подход к «определению соблюдения установленных требований» [2, 3]. Возникающая трудность связана с тем, что такая оценка осуществляется по результатам измерительного (инструментального) контроля с установленными показателями точности измерений. Средства измерений и методики контроля качества природной воды порой имеют погрешность, нередко составляющую десятки процентов от результата измерений, что вызывает сомнения в достоверности полученных данных и создает риск ошибочной оценки соответствия/несоответствия установленным требованиям.

Необходимые правила и нормативы в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений устанавливаются федеральными органами исполнительной власти [4–6], а в документы, подтверждающие выполнение этих правил, включаются требования учета погрешности измерений (например, [7]). Поэтому, например, при измеренном значении искомой концентрации некоторого

загрязняющего воду вещества C делается запись: $C \pm \Delta$ [8], означающая, что истинное значение величины заключено в пределах от $C + \Delta$ до $C - \Delta$. Здесь Δ – верхняя граница приписанной характеристики погрешности – интервала, в котором погрешность измерений находится с доверительной вероятностью P (п. 2.1.2 в [6]).

Например, измерение, выполненное по аттестованной методике [5], показало, что концентрация бензола в питьевой воде составляет 0,8 от величины предельно допустимой концентрации (ПДК). Если принять этот результат, то воду следует признать соответствующей установленным требованиям. Но, согласно [9, 10], так называемая норма погрешности измерений (п. 2.1.1 и 2.2 в [6]) для бензола равна $\delta = \pm 50\%$ при принятом здесь и далее $P = 0,95$. Учитывая это, заключаем, что его истинная концентрация, скорее всего, лежит в пределах от 1,20 до 0,40 ПДК. Следовательно, вода может либо соответствовать, либо не соответствовать нормативу по данному загрязняющему веществу. В данном случае при такой погрешности методики измерений корректно ответить на вопрос о качестве невозможно. Также невозможно оценить потенциальный риск, нанесенный здоровью, при употреблении такой воды.

В качестве правил разрешения споров, связанных с учетом погрешностей результатов измерений (испытаний, анализов) можно рассмотреть подход, установленный в [11], разработанный на основе

¹ ФГБУ «Гидрохимический институт».

² r.belousov@gidrohimi.com.

³ Институт водных проблем РАН.

международного стандарта [12]. Этот ГОСТ разрабатывался для нефти и продуктов ее переработки, однако в области применения указано, что стандарт не распространяется на материалы и вещества неоднородного состава и, следовательно, подход может быть применен к воде, которая однородна по своему составу. В этом случае правила [11] заключаются в следующем:

- а) орган контроля вправе настаивать на несоответствии объекта исследования, если его качество не соответствует установленным требованиям даже при учете приписанной характеристики погрешности измерений со знаком минус, то есть «в пользу соответствия» продукции;
- б) объект исследования явно соответствует нормативам безопасности, если можно продемонстрировать это даже при учете приписанной характеристики погрешности измерений со знаком плюс, то есть «в сторону несоответствия»;
- в) расхождение в результатах измерений, полученных заинтересованными сторонами, не превышающее установленной в стандарте погрешности, не является предметом юридического спора между сторонами;
- г) расхождение в результатах измерений, превышающее установленную погрешность, является предметом юридического спора;
- д) спор разрешается путем привлечения арбитражной лаборатории.

Выше перечисленные правила в России не применяются, а в практике многих договорных отношений погрешность измерений часто предпочитают не учитывать. Это противоречит требованиям закона [4], но предусмотрено некоторыми стандартами [9, 13]. Так, по [13] «при принятии административных решений по оценке превышения результатов определения содержания контролируемого показателя <...> к рассмотрению принимают результат определения без учета значений характеристики погрешности». Поэтому делается заключение о несоответствии, если, например, измеренная по аттестованной методике концентрация загрязняющего воду вещества больше ПДК ($C > \text{ПДК}$). Между тем такое заключение является спорным и зависит от того, какое из следующих неравенств выполняется: $C - \Delta \geq \text{ПДК}$ или $C + \Delta < \text{ПДК}$ [14].

Поясним это на примерах.

Пример 1. Оценить риск (вероятность) ложного заключения о несоответствии содержания свинца в питьевой воде, если измеренная по аттестованной методике [15] концентрация этого вещества: а) $C = 0,050$ или б) $0,039 \text{ мг/дм}^3$, что больше ПДК = $0,03 \text{ мг/дм}^3$.

Решение. В соответствии с [9, 15] для свинца в воде в диапазоне концентраций $0,001\text{--}0,1 \text{ мг/дм}^3$ приписанная характеристика относительной погрешности равна норме погрешности и составляет $\delta = \Delta / C = 0,30$ (30%). Следовательно, в случае а) $C - \Delta = 0,050 - 0,30 \times 0,050 = 0,035 \text{ мг/дм}^3$, что больше ПДК. Поэтому заключение о несоответствии в данном случае делается с незначительной ошибкой α , не превышающей $(1 - P) / 2 = 2,5\%$, поскольку принято $P = 0,95$. В случае б) $C - \Delta = 0,036 - 0,30 \times 0,036 = 0,025 \text{ мг/дм}^3$, что меньше ПДК. Поэтому заключение о нарушении установленных требований делается с риском ошибки $\alpha = \Phi\left(\frac{\text{ПДК} - C}{\sigma}\right)$, где $\sigma = \frac{\Delta}{z_p}$ – среднеквадратическое отклонение измеренных значений концентрации, z_p – квантиль нормальной функции распределения $\Phi(x)$. Для $P = 0,95$: $z_p = 1,96$. Из таблицы значений приведенной функции находим $\alpha = 14\%$.

Из приведенного примера и табл. 1 видно, что риск (вероятность) ложного заключения о несоответствии быстро возрастает с приближением C к ПДК и увеличением границ погрешности, приписанных современными методиками измерений загрязняющих воду веществ. Такова цена принятия результата определения содержания контролируемого показателя без учета погрешности. Подобное упрощение создает трудности корректного рыночного регулирования.

Некоторую определенность в вопрос об учете погрешности измерений вносят Рекомендации [16], которые распространяются на оценку соответствия

Таблица 1. Вероятность ошибочного заключения

Результат измерений в долях ПДК	Границы погрешности $\pm\delta$ при $P=0,95$							
	10	20	30	40	50	60	70	80
$\alpha, \%$								
1,005	46	48	49	49	49	49	49	50
1,02	35	42	45	46	47	47	48	48
1,04	23	35	40	43	44	45	46	46
1,2	2,5>	5	14	21	26	29	32	34
1,4	2,5>	2,5>	3	8	13	18	21	24
2	2,5>	2,5>	2,5>	2,5>	2,5>	5	8	11

показателей качества нормативным гигиеническим и экологическим требованиям. По [16] исследуемый объект признается соответствующим, если выполняется условие $C+U \leq \text{ПДК}$ (U – расширенная неопределенность измерений). Тем самым реализуется презумпция максимальной потенциальной безопасности, которую иллюстрирует следующий пример.

Пример 2. Сравнить результаты оценки соответствия питьевой воды установленным требованиям по [13] и [16], если измеренная концентрация свинца в пробах воды равна: а) $0,027 \text{ мг/дм}^3$, б) $0,021 \text{ мг/дм}^3$.

Решение. В случае а) $C < \text{ПДК}$, но $C + \Delta = 0,027 + 0,008 = 0,035 \text{ мг/дм}^3$ что больше ПДК. Следовательно, по стандарту [13], качество воды соответствует установленным требованиям, а по Рекомендациям [16] – не соответствует. В случае б) $C + \Delta = 0,021 + 0,006 = 0,027 \text{ мг/дм}^3$, то есть измеренное значение загрязняющего вещества настолько меньше ПДК, что факт соответствия подтверждается и стандартом, и Рекомендациями.

Оценка соответствия с учетом неопределенности результата измерений (*uncertainty of measurement*) [17], то есть характеристики, под которой понимается «рассеяние значений полученных данных», предусмотрена в [18]. В своем узком смысле, как параметр, присоединяемый к результату измерений, неопределенность по смыслу противоположна понятию характеристики погрешности, отражающей «близость полученного результата измерений к истинному значению измеряемой величины» (п. 2.1.3 в [6]). По [17] должна быть проанализирована методика измерений и найдены все возможные источники неопределенности. Это соответствует основополагающим международным требованиям, предъявляемым к испытательным лабораториям [19], и обязывающим их выполнять оценку неопределенности измерений с учетом таких ее источников, как неполное определение измеряемой величины, условия окружающей среды, погрешности средств измерений массы и объема, неопределенности значений эталонов, приближения и допущения, являющиеся частью метода и процедуры измерений и т. д. [20].

В соответствии с [18]:

- если результат измерения ниже или выше установленного требования на величину, большую, чем расширенная неопределенность измерений U (соответствующая верхней границе интервала погрешности), то есть $C + U \leq \text{ПДК}$ или $C - U > \text{ПДК}$, то заключение о соответствии/несоответствии продукции установленным требованиям считается правильным;

- если результат измерения ниже или выше установленного требования на величину, меньшую, чем расширенная неопределенность (граница погрешности), то есть $C \leq \text{ПДК}$, но $C + U > \text{ПДК}$ или $C > \text{ПДК}$, но $C - U \leq \text{ПДК}$, то возникает риск ошибки, для устранения (снижения) которого проводятся дополнительные измерения; по результатам всех измерений вычисляют среднюю концентрацию с пониженной расширенной неопределенностью и делают окончательное заключение о соответствии/несоответствии;
- если и после уменьшения расширенной неопределенности оценить соответствие не удается, орган, проводящий измерения и опирающийся на риск-ориентированный подход, вправе утверждать о невозможности сделать правильное заключение.

Графически данный подход представлен на рис. 1 (при ПДК, например, 20 мг/дм^3).

Где:

1. $C + U < \text{ПДК}$, вывод однозначен – вода пригодна для использования;
2. $C - U > \text{ПДК}$, вывод однозначен – вода не пригодна для использования;
3. $C < \text{ПДК}$, но $C + U > \text{ПДК}$, вывод неоднозначен, требуются дополнительные измерения;
4. $C > \text{ПДК}$, но $C - U < \text{ПДК}$, вывод неоднозначен, требуются дополнительные измерения.

Рассмотрим пример проведения дополнительных исследований.

Пример 3. При измеренной концентрации свинца $0,036 \text{ мг/дм}^3$ (пример 1б) питьевая вода, по стандартам [9, 13], должна рассматриваться как несоответствующая установленным требованиям. Однако правила, приведенные в [18], не позволяют однозначно сделать такое заключение. Выяснить, какое

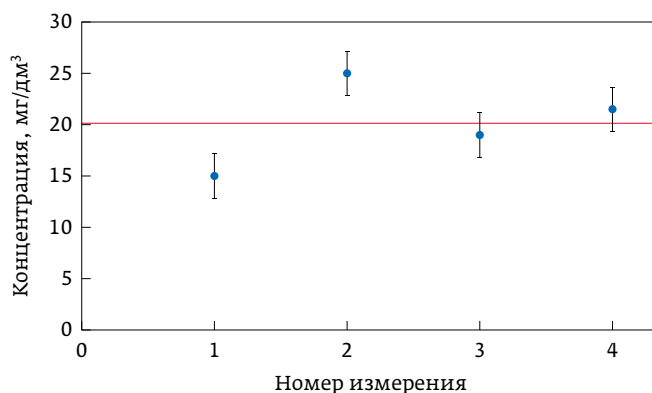


Рис. 1. Варианты полученных при исследованиях значений контролируемого параметра по отношению к ПДК

заклучение возможно, если проведено дополнительное исследование, так что, помимо предусмотренных методикой [15] двух параллельных измерений ($n=2$), сделано еще два измерения (обозначим как $m=2$), и получено среднее значение концентрации $\bar{C}=0,044$ мг/дм³.

Решение. С учетом результатов основных (пример 1б) и дополнительных измерений имеем для общего среднего: $\bar{C}=(0,036+0,044)/2=0,040$ мг/дм³.

Далее: $\Delta=2\sqrt{\left(\frac{\Delta_c}{2}\right)^2+\sigma_R^2-\frac{\sigma_r^2}{n}+\frac{\sigma_r^2}{n+m}}=0,011$ мг/дм³, где σ_r – среднее квадратическое отклонение повторяемости, σ_R – среднее квадратическое отклонение воспроизводимости, Δ_c – характеристика систематической погрешности методики измерений [6, 15]. Следовательно, $\bar{C}-\Delta=0,040-0,011=0,029$ мг/дм³, что не превосходит значение ПДК, но все же о соответствии не свидетельствует. Поэтому формулируется неокончательный результат оценки соответствия.

Возможно, в подобных случаях полезны общепризнанные правила, предусматривающие, что неопределенность результатов измерения трактуется в пользу производителя, а не контролирующего органа. Например, по метрологическим правилам [21] партия продукции не считается бракованной, «если верхняя граница доверительного интервала не ниже номинального значения». Такое решение обосновывается тем, что принятие результатов измерений без учета характеристик погрешности означает «частичное игнорирование обстоятельств», что, в соответствии с Арбитражным процессуальным кодексом РФ, является основанием для отмены судебного решения, поскольку установлена «недоказанность имеющих значение обстоятельств». Это правило легко применить к регулированию рыночных отношений. Следуя ему, потребитель может настаивать на снижении суммы платежа из-за пониженного качества продукции. Ведь измерения лишь показывают, что истинная концентрация с приемлемой доверительной вероятностью лежит в диапазоне, включающем как C , так и $C-\Delta$. И если измерения выполнены в соответствии с установленными требованиями [5], то это утверждение можно опровергнуть, лишь опираясь на предположения, а не на факты, что в судебных решениях недопустимо. А опора на факты и презумпцию невиновности вынуждает ограничить платежи минимальной доказанной суммой.

С другой стороны, презумпция потенциальной опасности объектов хозяйственной деятельности требует принимать $C+\Delta$ за концентрацию, гарантирующую соответствие продукции установленным нормативам по меньшей мере с допустимым риском,

здесь имеющим значение $1-P=1-0,95=0,05$. Но это требование не распространяется на «виновника» события – не им разработана и аттестована методика измерений с заданной приписанной характеристикой погрешности.

Заклучение

Риск-ориентированный подход позволяет более корректно оценивать полученные выводы, особенно в ситуации, когда значение контролируемого показателя приближается к ПДК. В сомнительных ситуациях рекомендуем использовать следующие правила:

- принимайте решения исходя из действующего законодательства;
- при обосновании своих решений ссылайтесь на ГОСТ Р 50779 «Статистические методы»;
- лучше всего вашу правоту доказывают факты, поэтому подбирайте их с умом и опирайтесь лишь на те, которые подтверждают ваш вывод.

Литература

1. Данилов-Данильян В. И. Природная рента и управление использованием природных ресурсов. *Экономика и математические методы*. 2004;40(3):3–15.
2. ISO/IEC 17000:2004. Conformity assessment – Vocabulary and general principles (Оценка соответствия – Словарь и общие принципы).
3. Авербух А. И., Розенталь О. М. Метрологическое обеспечение контроля качества вод. *Вода: химия и экология*. 2011;2:60–65.
4. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ.
5. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.
6. МИ 1317-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
7. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль.
8. ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
9. ГОСТ 27384-2002. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств.
10. ГОСТ Р 57554-2017. Охрана природы. Гидросфера. Учет показателей точности измерений контролируемых показателей при оценке соответствия качества воды установленным требованиям.
11. ГОСТ Р 8.580-2001. Определение и применение показателей прецизионности методов испытаний нефтепродуктов.
12. ISO 4259:1992. Petroleum products – Determination and application of precision data in relation to methods of test.
13. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.
14. ГОСТ Р 58575-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Методика разрешения конфликтов в спорных (арбитражных) ситуациях.
15. ГОСТ Р 52180-2003. Вода питьевая. Определение содержания элементов методом инверсионной вольтамперометрии.
16. МИ 2612-2000 ГСИ. Метрологические критерии оценки соответствия качества объекта сертификации нормативным требованиям.

17. Дворкин В. И. Метрология и обеспечение качества химического анализа (2-е изд.). М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. 318 с.
18. ГОСТ Р 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы.
19. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
20. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК: Количественная оценка неопределенности в аналитических измерениях, третье издание, (2012) ISBN 978-0-948926-30-3. Доступно на www.eurachem.org.
21. ПР 50.2.004-94. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида.

References

1. Danilov-Danilyan V. I. Natural rent and management of the use of natural resources. *Ekonomika i matematicheskiye metody = Economics and mathematical methods*. 2004;40(3):3-15 (in Russ.).
2. ISO/IEC 17000 :2004. Conformity assessment – Vocabulary and general principles.
3. Averbukh A. I., Rozental O. M. Metrological assurance of water quality control. *Voda: khimiya i ekologiya = Water: chemistry and ecology*. 2011;2:60-65 (in Russ.).
4. Federal Law of June 26, 2008 N 102-FZ. On Ensuring Uniformity of Measurements.
5. GOST R 8.563-2009. State system for ensuring the uniformity of measurements. Procedures of measurements.
6. MI 1317-2004. State system for ensuring uniformity of measurements. Results and characteristics of the measurement error. Forms of representation. Ways to use during testing of product samples and control over the parameters of product samples and control of their parameters.
7. GOST R 58573-2019. Protection of Nature. Hydrosphere. Water quality. Risk-based control.
8. GOST 8.207-76. Direct measurements with multiple observations. Observation data processing methods.

9. GOST 27384-2002. Water. Rates of measurement error of characteristics of composition and properties.
10. GOST R 57554-2017. The nature conservancy. Hydrosphere. The accounting of measurement accuracy of controlled parameters in assessment of water quality compliance with statutory requirements.
11. GOST R 8.580-2001. State system for ensuring the uniformity of measurements. Determination and application of precision data in relation to petroleum products tests methods.
12. ISO 4259 :1992. Petroleum products – Determination and application of precision data in relation to methods of test.
13. GOST R 51232-98. Drinking water. General requirements for organization and quality control methods.
14. GOST R 58575-2019. The nature conservancy. Hydrosphere. Water quality. The procedure of conflict resolution in disputable (arbitration) situations.
15. GOST R 52180-2003. Drinking water. Determination of elements content by stripping voltammetric method.
16. MI 2612-2000. State system for ensuring uniformity of measurements. Metrological criteria for assessing the conformity of the quality of the certification object to regulatory requirements.
17. Dvorkin V. I. Metrology and quality assurance of quantitative chemical analysis. М.: Technosphere, 2019. 318 p.
18. GOST R ISO 10576-1-2006. Statistical methods. Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. Part 1. General principles.
19. GOST ISO/IEC 17025-2009. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
20. Ellison S. L. R. and Williams A. (Eds). Eurachem/CITAC guide: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Third edition, (2012) ISBN 978-0-948926-30-3. Available from www.eurachem.org.
21. ПР 50.2.004-94. State system for ensuring uniformity of measurements. The procedure of state metrological supervision over the number of packaged goods in packages of any kind during their packaging and sale.

Статья поступила в редакцию 10.02.2023

Принята к публикации 27.03.2023



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ В ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

под ред. В.Б. Барановской, И.В. Болдырева
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2022. – 106 с. ISBN 978-5-94836-645-6

Цена 475 руб.

Это издание включает в себя перевод совместного Руководства двух авторитетных международных организаций по метрологии в аналитической химии – Еврахим и СИТАК, посвященное установлению метрологической прослеживаемости в химических измерениях. Первая официальная версия этого документа была опубликована в 2003 г. Это второе издание Руководства от 2019 года с исправлениями в терминологию, внесенными в третье издание Международного метрологического словаря (VIM).

В дополнение к этому Руководству публикуются три документа, относящиеся к деятельности Международного сообщества по аккредитации аналитических лабораторий ILAC (ИЛАК) и Политика Органа по аккредитации «Аналитика» по обеспечению метрологической прослеживаемости. Цель этого сборника – предоставить рекомендации по обеспечению требований к метрологической прослеживаемости результатов испытаний. В книге приводится описание согласованного набора принципов, которые могут использовать лаборатории для установления прослеживаемости результатов своих измерений, и особое внимание уделяется применению подходящих основ для сравнения химических величин.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosphere.ru; sales@technosphere.ru



УФА | Республика
Башкортостан

31-я международная выставка-форум

ГАЗ. НЕФТЬ. ТЕХНОЛОГИИ

23–26 мая 2023

📍 ВДНХ ЭКСПО

ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АССОЦИАЦИЯ
БАШКОРТОСТАНСКИХ
КОМПАНИЙ

ТРАДИЦИОННАЯ
ПОДДЕРЖКА



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ РФ



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

СОДЕЙСТВИЕ



СОВЕТ
ПО СОТРУДНИЧЕСТВУ
В СФЕРЕ
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



МЕЖДУНАРОДНОЕ
АГЕНТСТВО
ПО СОТРУДНИЧЕСТВУ
В СФЕРЕ
ЭНЕРГЕТИКИ



АССОЦИАЦИЯ
НЕФТЕПРОДУКТОРОВ И
НЕФТЕПЕРЕРАБОТЧИКОВ



ЕНТА
ЕВРОПЕЙСКАЯ СЕТЕВАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОМОТЕРОВ
ТОРГОВЛИ



ГИТ
ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИЙ
ГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ



ТЕХНОЛОГИИ
ГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ



ЭНЕРГОИННОВАЦИЯ



www.gntexpo.ru

+7 (347) 246-41-77 gasoil@bvkexpo.ru

[gazneftufa](https://t.me/gazneftufa) [gntexpo2022](https://vk.com/gntexpo2022)