

МЫШЬЯКООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ВОДЕ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

Лебедев С.М., Прусакова А.А., Лихтар А.В.

Военно-медицинский институт в учреждении образования «Белорусский государственный медицинский университет»

Аннотация. Мышьякоорганические соединения, содержащиеся в утилизированных химических боеприпасах, распадаются в воде на мышьяк и, таким образом, представляют неопределенный срок загрязнения водной среды. Значительные изменения видового состава микробиоты означают нарушения экосистемы в местах захоронения боеприпасов.

Ключевые слова: мышьякоорганические соединения, химические боеприпасы.

ORGANO-ARSENIC COMPOUNDS IN WATER: ENVIRONMENTAL RISKS

Lebedev S.M., Prusakova A.A., Likhtar A.V.

Abstract. The organo-arsenic compounds contained in disposed chemical munitions decompose into arsenic in water and thus represent an indefinite period of pollution of the aquatic environment. Significant changes in the species composition of the microbiota mean violations of the ecosystem at the sites of ammunition disposal.

Keywords: organo-arsenic compounds, chemical munitions.

В настоящее время химические боеприпасы, утилизированные в послевоенный период посредством сброса в воду, содержавшие различные отравляющие вещества, в том числе и мышьякоорганической природы, создают большую проблему с позиции их потенциальной опасности для окружающей среды. Условия водной среды, в которой находятся боеприпасы, представлены многочисленными геогидрологическими переменными, способствующими увеличению скорости коррозии, разрушению оболочек химических боеприпасов и влияющими на повышение выброса из них химических агентов. К наиболее часто ранее сбрасываемым боевым отравляющим веществам, содержащим мышьяк, относятся дифенилхлорарсин, дифенилцианоарсин, арсиновое масло, адамсит и люизит [1].

Мышьякоорганические соединения, оказавшиеся в водной среде, разлагаются с образованием тетрафенилдиарсина и соляной кислоты или цианида водорода соответственно. Однако, например, скорость гидролиза дифенилхлорарсина и дифенилцианоарсина зависит от количества соединений, поскольку они разлагаются медленнее, если находятся в больших комках. Тетрафенилдиарсин как основной продукт их распада гидролизует медленнее. Указанные соединения адсорбируются на отложениях и могут сохраняться в подводной среде в течение нескольких месяцев, прежде чем далее разлагаться до мышьяка.

Адамсит, арсиновое масло образуют при гидролизе аналогичные токсичные продукты распада, а именно мышьяк и соединения оксида мышьяка. Люизит под воздействием воды быстро гидролизуется на оксид. Токсическое действие его не меньше, чем у люизита, но устойчивость выше. Далее он распадается на различные соединения мышьяка и, наконец, на неорганический мышьяк.

Соответственно все мышьякоорганические соединения в конечном итоге образуют неорганический мышьяк в качестве продукта распада. Продукты распада мышьякоорганических боевых отравляющих веществ, включая мышьяк, способны загрязнять территорию площадью 1,5 м от места выброса на срок до ста лет и вызывать серьезные

экологические проблемы из-за загрязнения отложений на протяжении десятилетий. При этом риск заражения мышьяком исключительно сложно оценить, поскольку различают его различные формы. Он встречается в природе в большинстве сред как в органическом, так и в неорганическом состояниях, а также в нескольких валентностях. Трехвалентная форма более токсична, чем пятивалентная, а неорганический мышьяк значительно более токсичен по сравнению с обычно менее токсичными сложными мышьякорганическими соединениями. Неорганический мышьяк, как правило, метаболизируется в органический мышьяк после приема внутрь.

Загрязнение мышьяком и возможное его биоаккумуляция в морепродуктах вызывают озабоченность, связанную с химическими боеприпасами, утилизированными в воде. Так, фитопланктон способен поглощать и накапливать значительное количество мышьяка из воды. Это не относится к зоопланктону или беспозвоночным-фильтраторам, но тем не менее имеются исследования, подтверждающие, что указанные организмы биоаккумулируют мышьяк, присутствующий в съеденном фитопланктоне [2].

Основным соединением мышьяка, обнаруженным у морских животных, является нетоксичный мышьякорганический арсенобетаин. Он является наиболее распространенной формой водорастворимого мышьяка. Вместе с тем следовые количества неорганического и, следовательно, потенциально токсичного мышьяка присутствуют в исходных количествах в рыбе и других морских животных (редко более 1% от общего содержания мышьяка). В Балтийском море было проведено несколько исследований загрязнения мышьяком. Исследование, проведенное в литовской экономической зоне Балтийского моря, показало, что четыре из пяти мест захоронения химических боеприпасов имеют более высокие концентрации мышьяка в отложениях, чем на эталонных объектах. В другом исследовании сельди, трески и камбалы, выловленных тралом из районов свалок в бассейне Борнхольма, было обнаружено, что риск генотоксичности и цитотоксичности для каждого вида рыбы на свалках повышен по сравнению с эталонными участками [3, 4].

Таким образом, в последнее время использование современных технологий (прокладка труб, прокладка кабелей, бурение, подводное плавание, траление и подводные научные исследования) сопровождается механическими нарушениями дна в районе, потенциально загрязненном химическими боеприпасами, что совместно с воздействием силы и направлением течения, вертикального и латерального водообмена, солености, рН воды, процентного содержания растворенного кислорода и температуры воды, увеличивает риск нарушения целостности боеприпасов. В тоже время долгосрочная угроза биоценотической среде обитания из-за повышенных концентраций мышьяка, изменений в видообразовании микробиоты и хронической токсичности для позвоночных и беспозвоночных остается вероятным экологическим риском для окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пака, В.Т., Набатов В.Н. Химическое оружие в Балтийском море: потенциальные угрозы для окружающей среды и здоровья населения; пройденные и предстоящие задачи на пути решения проблемы // Океанологические исследования. – 2022. – Т. 50. № 2. – С. 139–162.
2. Czub, J., Nawala J., Popiel S. [et al.]. Acute aquatic toxicity of arsenic-based chemical warfare agents to *Daphnia magna* // *Aquatic Toxicology*. 2021. – Vol. 230. – P. 1–11.
3. Greenberg, M., Sexton K., Vearrier D. Sea-dumped chemical weapons: environmental risk, occupational hazard // *Clinical-Toxicology*. – 2016. – Vol. 54. – P. 79–91.
4. Sanderson, H., Fauser P., Thomsen M., Sorensen P. Human health risk screening due to consumption of fish contaminated with chemical warfare agents in the Baltic Sea // *Journal of Hazard Mater*. 2009. – № 162. – P. 416–422.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Сборник материалов
XVIII международной научно-практической конференции молодых ученых*

18 апреля 2024 года

Минск
УГЗ
2024