

УДК 504.064.2

**ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ  
ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Пантелеев Д.А., адъюнкт, Терентьев В.В., курсант гр. 25-92, III курс

Научные руководители: Кочетова Ж.Ю., д.г.н., доцент,

Базарский О.В., д.ф.-м.н., профессор

Военный учебно-научный центр Военно-Воздушных сил «Военно-воздушная  
академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
г. Воронеж

Причина обострения военно-экологических проблем – создание оружия, способного причинять природе такой вред, который превышает ее возможности к самовосстановлению. Ушедший 2023 год стал рекордным за 30 лет по числу действующих в мире конфликтов, в результате которых погибли десятки тысяч человек, нанесен колоссальный материальный ущерб более 180 регионам, на многие десятилетия нарушены экосистемы. Вследствие военных действий нарушены все экологические функции геосферных оболочек Земли, но наиболее интенсивному и длительному воздействию подвержены литосферные (изменение ландшафтов, деградация почв, химическое и физическое загрязнение) [1].

Цель данной работы – исследование особенностей загрязнения поверхностных почв наиболее распространенными токсикантами – взрывчатыми веществами и продуктами их распада. В Российской Федерации подобных исследований еще не проводилось, хотя тема на сегодняшний день является актуальной и требует всестороннего изучения для дальнейшей разработки эффективных мер по восстановлению почв на масштабных территориях в целях их мирного использования. Приведенный анализ базируется на изучении более 150 зарубежных источников, посвященных проблеме нарушения почв и грунтов в результате военных учений и вооруженных конфликтов. Более подробно обзор представлен в работах авторов статьи [1-3].

На действующих и давно закрытых полигонах и заводах концентрации взрывчатых веществ в почвах и грунтах в сотни и тысячи раз превышают предельно допустимые. На рисунке 1 приведена схема возможных источников загрязнения окружающей среды взрывчатыми веществами.

За рубежом на изучение закономерностей трансформации экологических функций геосфер под воздействием объектов военной деятельности выделяются немалые гранты, в том числе государственные. Конечной целью этих исследований является выработка оптимальных решений для очистки объектов окружающей среды и оценка возможности использования масштабных территорий бывших полигонов и баз для гражданских нужд (строительства жилых комплексов, расширения сельскохозяйственных угодий, разбивки

парков и зон отдыха). В открытом доступе на сайте Google Scholar представлен банк данных о загрязнении взрывчатыми материалами почв на производственных, складских и тренировочных объектах военных объектах ряда западных стран [4, 5].

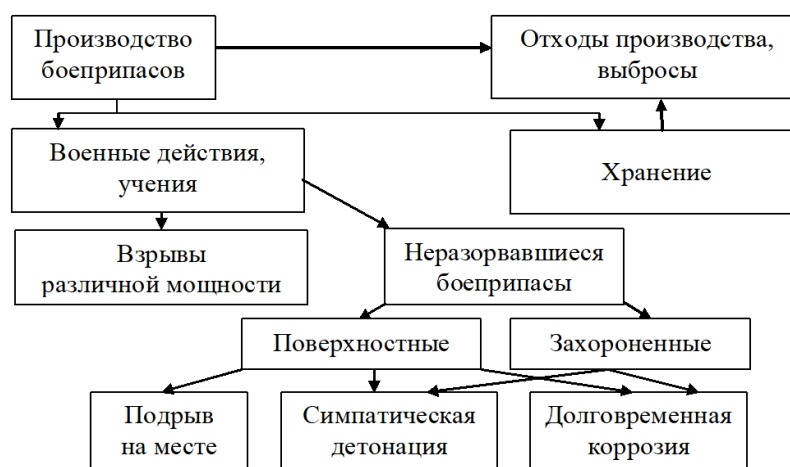


Рисунок 1 – Основные источники распространения взрывчатых веществ

Основным источником загрязнения взрывчатыми веществами и ракетным топливом на полигонах для ведения боевого огня являются остатки от детонации военных боеприпасов, включая снаряды (минометные и артиллерийские), гранаты, наземные мины, авиационные бомбы и ракеты, а также заряды для подрыва боеприпасов. Огневые точки и цели на стрельбищах расположены на большом расстоянии друг от друга, поэтому большая часть территории не загрязнена остатками энергетических соединений. Выявлена высокая степень пространственной неоднородности остатков.

Как правило, выпущенный боеприпас взрывается, но может испытать и детонацию низкого порядка, или вообще не взорваться в результате неисправности. При детонации артиллерийских снарядов, минометов и ручных гранат большая часть взрывчатого вещества расходуется, а осаждается лишь относительно небольшой процент (от  $10^{-3}$  до  $10^{-6}$  %) от его начальной массы. Поэтому детонации высокого порядка не вносят существенного вклада в общее загрязнение почв полигонов взрывчатыми веществами. Так, до 2 % тротила снаряда калибра 155 мм остаются на поверхности почвы после детонации высокого порядка, что эквивалентно 140 г остатков взрывчатого вещества на снаряд. Если такой снаряд подвергается детонации низкого порядка, то на почву осаждается до 3 кг тротила. Известна тенденция увеличения массы остатка при уменьшении энергии детонации. Частота взрывов низкого порядка варьируется в разных системах вооружения.

Распределение по дальностям поражения (например, от противотанковой и артиллерийской стрельбы, сбрасывания бомб) было описано как случайно распределенные точечные источники [6]. Авторы использовали снег в качестве среды для сбора остатков взрывчатых веществ после детонации вы-

сокого порядка различных военных боеприпасов. После детонации собирали образцы снега с площади 1 м<sup>2</sup>, обрабатывали и анализировали на наличие взрывчатых веществ без перекрестного загрязнения в результате предыдущих детонаций и других потенциальных помех. Максимальные концентрации взрывчатых веществ, превышающие нормативы на пять порядков, были зарегистрированы в образцах, расположенных в среднем на расстоянии 3 м друг от друга.

В образце почвы из Форт-Гриля (Аляска), отобранном вблизи 2,75-дюймовой ракеты с детонацией низкого порядка, обнаружены тротил, гексоген и октоген с концентрациями 130, 340 и 40 мг/кг соответственно. В Форт-Блиссе (Нью-Йорк) почва вблизи 155-мм невзорвавшегося снаряда содержала 2520 мг/кг тротила. Вблизи 4,2-дюймового минометного снаряда также с детонацией низкого порядка концентрация тротила в почве составляла 143000 мг/кг. Во время экологических исследований на 23 военных полигонах в США и Канаде концентрации тротила и гексогена часто составляли сотни или тысячи мг/кг в почвах рядом с неразорвавшимися снарядами.

Наиболее хорошо изученной учебной военной зоной на сегодняшний день, вероятно, является лагерь Эдвардс (Массачусетская военная резервация), где военные действия проводились с 1938 г. Около 9500 проб почвы и 5500 проб грунтовых вод проанализированы на содержание взрывчатых веществ. Частота обнаружения энергетических веществ убывает в ряду: перхлорат → гексоген → октоген → тротил → 2,4-динитротолуол. Массачусетская военная резервация расположена на территории с высокопроницаемыми почвами и обильными осадками. Эти условия создают худший вариант развития событий при загрязнении подземных вод компонентами боеприпасов, фильтрующимися из поверхностных слоев почв. Основными источниками загрязнения подземных вод являются остатки детонации низкого порядка в зонах вокруг целей и неразорвавшихся боеприпасов.

По приведенным в 2002 г. оценкам Министерства обороны Вьетнама земли, затронутые неразорвавшимися боеприпасами (НРБ) и наземными минами, составляют 7–8 % территории страны, большинство из них остались после войн. Официальные источники утверждают, что от 350000 до 800000 т боеприпасов военной эпохи до сих пор находятся в почве, в том числе 3 млн противопехотных наземных мин. Затронуты все провинции, а также крупные города. Несмотря на обширные операции по разминированию в 1990-х годах, наземные мины остаются серьезной проблемой на границах Китая и Камбоджи, многие неразорвавшиеся боеприпасы находятся на границе с Лаосом.

Минные поля остались со времен кампании против французов в Дьен-бьенфу (1954 г.), продолжавшейся в ходе пограничных конфликтов с Китаем и красными кхмерами до 1970-х гг. Примерно 85 % от всех оставшихся мин содержат тротил. В период с 1964 по 1973 гг. над Лаосом проведено более 580 тысяч бомбардировок, в ходе которых было сброшено более 2 млн т боеприпасов, в том числе 270 млн кассетных суббоеприпасов, которые являются наиболее распространенной формой оставшихся неразорвавшихся бомб. Под-

считано, что не подверглось детонации до 30 % сброшенных боеприпасов.

В Камбодже миллионы минометных мин, гранатометных и стрелковых гранат, артиллерийских снарядов, кассетных боеприпасов, авиационных бомб, противопехотных и противотанковых мин разбросаны по двум районам страны. Лишь небольшой процент земель очищен от неразорвавшихся боеприпасов и мин. С 1979 г., уже в мирное время, зарегистрировано более 60000 жертв от неразорвавшихся боеприпасов и мин.

В Австралии выявлено 1215 участков, загрязненных сотнями тысяч неразорвавшихся боеприпасов, большинство из которых находятся в Западной Австралии (334 участка), Новом Южном Уэльсе (292) и Квинсленде (269). Пострадавшие объекты включают полигоны военной подготовки.

Ирак является одной из наиболее загрязненных взрывчатыми веществами стран в мире. На иракскую землю было сброшено более 50 млн кассетных бомб. Не утилизировано к настоящему времени 20 млн мин, до сих пор находят многочисленные места захоронения боеприпасов и заброшенные склады. Пострадавшие участки занимают до 1730 км<sup>2</sup> и влияют на качество жизни 1,6 млн человек. Наземные мины сосредоточены в Иракском Курдистане, в пределах основной нефтяной инфраструктуры и в районах, граничащих с Ираном.

Южный Ливан был усеян миллионом неразорвавшихся кассетных бомб, сброшенных израильскими силами обороны в последние дни израильско-ливанской войны 2006 г. Палестинские оккупированные территории также страдают от неразорвавшихся боеприпасов и наземных мин. В 2002 г. ЮНИСЕФ пришел к выводу, что большинство минных полей, созданных в ближневосточной войне 1967 г., не были учтены, израильские военные учебные зоны не огорожены, неразорвавшиеся боеприпасы не собираются. В большинстве районов конфронтации израильские и палестинские неразорвавшиеся боеприпасы, и самодельные взрывные устройства остаются под землей.

Во время войны между армянскими войсками и Азербайджаном (1988–1994 гг.) линии боевых действий часто смещались, в результате Нагорный Карабах был значительно загрязнен взрывоопасными веществами. При этом пострадало 37 млн м<sup>2</sup> пахотных земель и 35 млн м<sup>2</sup> пастбищ, 80 тыс. м<sup>2</sup> виноградников непригодны для использования.

Есть данные о широкомасштабном применении противопехотных мин с самолетов, вертолетов и ракет в Чечне с 1999 по 2000 гг. В 2002–2003 гг. чеченские боевики почти ежедневно применяли наземные мины против военных и гражданских объектов. Достоверная оценка местоположения и количества мин затруднена, так как линии боевых действий постоянно менялись, на распространение загрязнения почв оказывали влияние наводнения.

На бывшем полигоне боеприпасов Werk Tanne (Германия) было произведено более 100 тысяч т тротила. В ходе производственных операций образовалось 5 млн м<sup>3</sup> токсичных сточных вод. Ущерб окружающей среде был усугублен разрушением объекта во время бомбардировок в 1944 году. Сегодня это место остается сильно загрязненным взрывчатыми веществами и их

метаболитами, а также полициклическими ароматическими углеводородами и тяжелыми металлами.

При производстве взрывчатых веществ основными источниками загрязнения объектов окружающей среды являются линии их обработки, литья, отверждения. Масштабные загрязнения происходят вследствие нарушения правил хранения сырья и готовой продукции, а также из-за низкой очистки сточных производственных вод. Завод Pantex (Техас) во время Второй мировой войны выпускал снаряды и бомбы обычных боеприпасов. Текущие операции включали разработку, испытания и изготовление компонентов взрывчатых веществ. Проведенные через 70 лет исследования показали, что линия по обращению с твердыми отходами завода загрязнена тротилом, гексогеном и октогеном. Концентрации веществ в почвах максимальны на глубине 10 м. За пределами объекта обнаружены шлейфы, содержащие взрывчатые вещества, которые попадали в водоносный горизонт Огаллала – основной источник питьевой воды в регионе.

Лос-Аламосская национальная лаборатория с 1944 по 1996 гг. сбрасывала загрязненные тротилом, гексогеном и оксидом азота воды. В 2007 г. вблизи объекта обнаружены остатки, выделившиеся в результате захоронения или распыления твердофазных взрывчатых веществ. Концентрации взрывчатых веществ в поверхностном слое почвы достигали 20 % масс., а концентрации в поверхностных водах – 800 мкг/л.

С 1940 по 1977 гг. около 2 млн т взрывчатых веществ было произведено на заводе боеприпасов армии Джолиет (штат Иллинойс). К настоящему времени оконтурено 117500 м<sup>2</sup> почвы, загрязненной взрывчатыми веществами, в основном тротилом, тетрилом и динитротолуолом. Еще 11300 м<sup>2</sup> почвы обогащены металлами (в основном свинцом); 13130 м<sup>2</sup> содержат как взрывчатые вещества, так и металлы. Был выявлен ряд шлейфов подземных вод, загрязненных взрывчатыми веществами, летучими органическими соединениями, металлами. В нескольких районах обнаружены неразорвавшиеся боеприпасы.

Обработка и хранение взрывчатых веществ осуществлялись на военном складе в Саванне до его закрытия в 1995 году. Почвы подвергались интенсивному воздействию тротила и гексогена, а также металлов, пестицидов и полициклических ароматических углеводородов. Через 14 лет в подземных водах были обнаружены тротил и гексоген, углеводородные загрязнители.

На бывшей фабрике по производству взрывчатых веществ Maribyrnong (Австралия) в лагуне для отходов была определена зона, содержащая 5,5 т кристаллического тротила. Слой почти чистого тротила средней толщиной 3 см расположен в приповерхностной почве глубиной до 10–15 см. Слой тротила в зоне вадозы образовался в результате выщелачивания, рекристаллизации, сорбции, реакций трансформации, осаждения тротила на границе раздела грунтовых вод.

На западе США крупномасштабное удаление солей перхлората аммония после производственных операций привело к загрязнению как подземных, так и поверхностных вод. Перхлорат был обнаружен в водоснабжении

15 млн домов в Калифорнии, Неваде и Аризоне. Также известно, что перхлорат загрязняет реку Колорадо – основной источник оросительной воды на юго-западе США, что потенциально может привести к поглощению перхлората сельскохозяйственными культурами.

Интересны также результаты, полученные при исследовании почв с завода по производству боеприпасов в Луизиане. Обнаружены высокие концентрации тротила, гексогена и окиси азота (10 тысяч, 1900 и 900 мг/кг соответственно). Такие высокие концентрации образовались после сжигания загрязненных взрывчатыми веществами почв и шламов.

Таким образом, загрязнение почв взрывчатыми веществами производственных площадках, в зонах конфликтов и на военных полигонах является международной проблемой. Только в США тысячи военных объектов перечислены как загрязненные энергетическими соединениями. Около 50 млн акров пострадали от бомбардировок и других учебных мероприятий. Еще большее число загрязненных участков существует в Европе и Азии. Чрезвычайные ситуации в области общественного здравоохранения, тесно связанные с загрязнением прилегающих к полигонам территорий, вызвали требования местных граждан о принятии мер по восстановлению почв. В течение последних двух десятилетий многочисленные организации экологов вынудили военные ведомства в США, Канаде и многих европейских и азиатских странах выявлять места повышенного загрязнения и оценивать влияние военной деятельности на качество почв, подземных и поверхностных вод.

### Список литературы:

1. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Пантелеев Д.А. Экология почв военных полигонов. Воронеж: Научная книга, 2023. 184 с.
2. Кочетова Ж.Ю. Авиационно-ракетный кластер как новый класс объектов геоэкологического мониторинга // Географический вестник. 2019. № 3(50). С. 79-91.
3. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Маслова Н.В. Мониторинг содержания нефтепродуктов и азота в грунтах экологически опасного объекта и прилегающих к нему территорий // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 83-89.
4. Clark B., Bupati R. Evaluation of methods for bio-purification of soil contaminated with explosives at the Louisiana Army Ammunition Plant, Minden, Louisiana // Journal of Hazardous Materials. 2007. Vol. 143. P. 643-648.
5. Gray R.H., McGrath D.A. Environmental monitoring at the DOW Pantex plant in Amarillo, Texas // Federal Journal of Environmental Protection. 1995. Vol. 6. No. 1. P. 79–88.
6. Hewitt A.D., Jenkins T.F., Ranney T.A. Estimates for explosives residues from the detonation of army munitions // ERDC/ CRREL TR-03-16, US

Army Engineer Research and Development Center, Hanover, NH, USA,  
2003.