

Редкоземельные металлы в вооружениях и военной технике США

Д.А.Дегтерев, Е.А.Дегтерева

В природе существует около 17 редкоземельных металлов, наиболее известный из которых – церий. Сложно переоценить значение этих металлов для развития высокотехнологичных отраслей экономики, в т.ч. для оборонной промышленности.

Мировой рынок редкоземельных металлов на 95% контролируется Китаем. В июне 2010 г. китайские власти объявили об уменьшении экспортных квот во втором полугодии на 72% с перспективой их дальнейшего снижения. В сентябре 2010 г. Китай полностью прекратил поставки редких земель в Японию, из-за «обострения политических отношений». Это привело к резкому повышению цен на данное сырье на мировом рынке.

Редкие земли в производственных цепочках ВПК США

Перебои с поставками редкоземельных металлов привели к необходимости более глубокого анализа производственных цепочек в данной сфере. Наблюдается парадоксальная ситуация – американские военные подрядчики, производящие конечную продукцию оборонного назначения, фактически не фиксируют каких-либо проблем с поставками редкоземельных металлов, поскольку напрямую не имеют дело с поставщиками оксидов редкоземельных металлов, 97% производства которых обеспечивают компании КНР (см. **Рис.1**).



Рисунок 1. Пирамида добавленной стоимости в производстве редкоземельных металлов

Источник: *Electron Energy Corporation*

Они закупают продукцию более высокого уровня обработки, в первую очередь, магниты, а здесь уже велика доля западных производителей.

Самарий-кобальтовые магниты, используемые подрядчиками Министерства обороны США, поставляются следующими компаниями: «Dexter Magnetics» (США, Великобритания, КНР), «Arnold Magnetic Technologies» (США, Швейцария), «Electron Energy Corporation» (США), «Magnet Component Engineering» (США), «Integrated Magnetics» (США), Adams Magnetic Products (США), Vacuumschmelze (ФРГ), Magnet Applications (Сша, Великобритания) и «Thomas Skinner» (США)¹. Как видно, это преимущественно американские компании, причем на нужды оборонных предприятий идет лишь около 10% их продукции².

¹ USMMA Defence Supply Chain Assessment. Select Systems Employing Rare Earth. 10/7/2010. - <http://www.usmagneticmaterials.com/documents/USMMA-DOD-Supply-Chain-Assessment-v6.pdf>

² Valerie Bailey Grasso. Rare Earth Elements in National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress. CRS Report for Congress. Congressional Research Service, June 2011.

Некоторые из этих компаний сами производят самарий-кобальтовые магниты, что соответствует Раздел 10, подразделу А, части IV, главе 148, подглаве V, § 2533b Кодекса США «Требования по закупкам стратегических материалов, имеющих критическое значение для национальной безопасности, из американских источников. Исключения» (TITLE 10 > Subtitle A > PART IV > CHAPTER 148 > SUBCHAPTER V > § 2533b, «Requirement to buy strategic materials critical to national security from American sources; exceptions»³), однако большинство закупают магниты и обрабатывают их для получения необходимых форм и функций (подробнее о законодательном регулировании данной сферы см. Главу 4). В настоящее время нет ни одного американского производителя порошковых магнитов «Неодим-железо-бор».

Существует ограниченное американское производство металлов компаниями «Santoku» (Япония, США) и «Western Technology» (Канада, США). Также существует ограниченное производство металлов в Великобритании на мощностях компании «Less Common Metals». Все же большинство редкоземельных металлов завозится из КНР, а по оксидам редкоземельных металлов данная доля доходит до 97%.

Таким образом, производственная цепочка в данной сфере как бы «амортизирует» последствия ценовых шоков на рынке оксидов редкоземельных металлов (см. Табл. 1).

Таблица 1

Мировая производственная цепочка по редкоземельным металлам

Оксиды	Металлы, сплавы и порошки	Люминофоры	Магниты	
Lynas Corp. <i>Австралия</i>	Santoku Corporation <i>Япония/ США</i>	Rhodia <i>США, Франция</i>	<u>Дистрибьютор/ Изготовитель</u>	<u>Производитель</u>
Molycorp-exr. 2012 <i>США</i>	Shin Etsu <i>Япония</i>		Integrated Magnetics *Δ <i>США</i>	Electron Energy Corporation * <i>США</i>

³ http://www.law.cornell.edu/uscode/usc_sec_10_00002533---b000-.html

Japan Oil, Gas and Metals National Corp <i>Япония</i>	Great Western Minerals Group/ Less Common Metals <i>Канада/ Великобритания/ США</i>		Dexter Magnetic Technologies *Δ <i>США, Великобритания, КНР</i>	Thomas and Skinner ΔΔ <i>США</i>
КНР обеспечивает 97% мирового производства	Neo Materials (Magnaquench) <i>КНР</i>		Allstar Δ <i>США</i>	Arnold Magnetic Technologies *ΔΔ <i>США/ Швейцария</i>
Sichuan Mianning Mining Co <i>КНР</i>	CAS Key Laboratory of Rare Earth Chemistry and Physics <i>КНР</i>		Quadrant *Δ <i>США</i>	Molycorp (планируется СП с Hitachi) <i>США/ Япония</i>
Jiangxi Copper <i>КНР</i>			Adams *Δ <i>США</i>	Vacuumschmelze GmbH/ Neorem *Δ <i>Германия/ Финляндия</i>
Baotou Steel Rare Earth <i>КНР</i>			Bunting *Δ <i>США</i>	Hitachi Metals *Δ <i>Япония</i>
Sichuan Hanxin Mining Industrial Co <i>КНР</i>	Molycorp (СП с Sumitomo -SumikinMolycorp) <i>США/ Япония</i>		Magnetic Component Engineering, Inc. *Δ <i>США</i>	Chengdu Magnetic Material Science & Technology Company * <i>КНР</i>
			Magnet Sales *Δ <i>США</i>	Zhejiang TinnauGroup * <i>КНР</i>
			Stanford Magnetics *Δ <i>США</i>	Ningbo Co-Star Material High Tech Co. Ltd *Δ <i>КНР</i>
			Dura magnetic *Δ <i>США</i>	Nanjing Chuangken Magnetism Co. Ltd *Δ <i>КНР</i>
			KJ Magnetics Δ <i>США</i>	Ningbo Ninggang Permanent Magnetic Materials Co. Ltd *Δ <i>КНР</i>
				Advanced Technology & Materials Co., Ltd

	Δ KHP
	Beijing JingciMagnetism Technology Co. Δ KHP
	ThinovaCo., Ltd. Δ KHP
	Ningbo YunshengCo., Ltd. Δ KHP
	Shin Etsu *Δ Япония
	San Huan New Material High- Tech Inc. Δ KHP

Источник: *The United States Magnetic Materials Association* 2/17/11. Режим доступа - <http://www.usmagneticmaterials.com>

Примечание:

* - включая постоянные магниты самарий-кобальт (SmCo)

Δ - включая неодимовые магниты (NdFeB)

** - планы по производству постоянных магнитов самарий-кобальт (SmCo)

ΔΔ - планы по производству неодимовых магнитов (NdFeB)

Военные подрядчики чаще всего имеют дело с дистрибьюторами или изготовителями (fabricators), а также с производителями магнитов (manufacturers).

К первой категории относятся преимущественно импортеры и оптовики, занимающиеся поставками магнитов на местный рынок. Некоторый из них оставляют сам продукт (магниты) без изменений, в то время как другие делают дробление продукта. Наконец, часть из них делают более высокомаржинальные продукты на основе импортируемых компонентов.

Ко второй категории относятся те, кто сами делают сплавы редкоземельных металлов и в дальнейшем самостоятельно изготавливают магниты из собственных сплавов. Тем самым, они обеспечивают контроль за качеством сплавов редкоземельных металлов и не зависят в этом вопросе от иностранных поставщиков. Вдобавок, они имеют технологические

возможности не только по производству магнитов, но и по их термической обработке с целью улучшения свойств магнитов. Производители магнитов, как правило, имеют целый спектр производственных возможностей, что позволяет им производить магниты требуемых заказчиком форм и применений. Они также могут производить высокомаржинальные продукты с использованием магнитов собственного производства.

Использование редкоземельных металлов отдельными видами ВС США

Анализ американской продукции военного назначения, закупаемой Вооруженными силами США, имеющий редкоземельные металлы, целесообразно проводить по отдельным видам ВС США, выступающих в качестве заказчиков данной продукции⁴.

ВВС США. В продукции военного назначения, поставляемой для нужд ВВС США, имеется ряд наименований, содержащих редкоземельные металлы.

Поставщиком приводов стабилизаторов с использованием редкоземельных металлов для целого ряда позиций, закупаемых военно-воздушными силами, является компания «Moog Components Group»⁵. Данными приводами комплектуются:

- радиолокационные ловушки (Miniature Air-Launched Decoy), производимые корпорацией «Raytheon»;
- единые ракеты класса «воздух-земля» (Joint Air-to-Ground Missile)⁶, производимые корпорациями «Raytheon» и «Boeing»;
- внеатмосферные спутники-перехватчики (Exoatmospheric Kill Vehicle), производимые корпорацией «Raytheon»;

4 USMMA Defence Supply Chain Assessment. Select Systems Employing Rare Earth. 10/7/2010. - <http://www.usmagneticmaterials.com/documents/USMMA-DOD-Supply-Chain-Assessment-v6.pdf>

5 См. официальный сайт компании - <http://www.moog.com/about/components-group>

6 Также используются Корпусом морской пехоты США.

- системы наземного базирования для перехвата баллистических ракет на среднем участке траектории (GMD Missiles), производимые корпорацией «Boeing».

Корпорация «Electromech Technologies»⁷ производит гидравлические помповые двигатели с использованием редкоземельных металлов, которые устанавливаются на стратегических разведывательных БПЛА «RQ-4 Global Hawk UAV»⁸, производимых корпорацией «Northrop Grumman».

Разведывательный и ударный беспилотный летательный аппарат MQ-1 Predator⁹ корпорации «General Atomics» комплектуется мультиспектральной системой наведения AN/AAS-52, поставляемой корпорацией «Raytheon», а также гидравлическим помповым двигателем с использованием редкоземельных металлов, поставляемым корпорацией «Advanced Industries»¹⁰.

Аналогичной мультиспектральной системой наведения производства корпорации «Raytheon» комплектуется и другой разведовательно-ударный БПЛА корпорации «General Atomics» - MQ-9 Reaper¹¹.

Американский всепогодный тактический истребитель четвёртого поколения F15¹², поставляемый корпорацией (McDonnell Douglas), включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;

7 См. официальный сайт компании - <http://www.electromech.com>

8 Также используются Армией США и Военно-морскими силами США.

9 Также используется Армией США.

10 См. официальный сайт компании - <http://www.advancedindustries.com/>

11 Также используются Армией США и Военно-морскими силами США.

12 Также используется Военно-морскими силами.

- сенсорные и коммуникационные системы AN/ALR-56, AN/APG-63, LANTIRN (устанавливается на модели F-15E) производства компаний «BAE» (Великобритания), «Raytheon», «Lockheed Martin»;
- система РЭБ AN/ALQ-135 производства корпорации «Northrop Grumman».

Американский многофункциональный лёгкий истребитель четвёртого поколения F-16, поставляемый корпорацией «Lockheed Martin», включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/APG-66, LANTIRN, LITENING, LITENING AT производства компаний «Northrop Grumman», «Lockheed Martin», «Rafael» (Израиль).
- система РЭБ AN/ALQ-187 производства корпорации «Northrop Grumman».

Американский многоцелевой истребитель пятого поколения F-22 Raptor, производимый компаниями «Boeing» и «Lockheed Martin», включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAR-56, AN/ALR-94, AN/APG-77, ICNI производства компаний «Lockheed Martin», «BAE Systems» (Великобритания), «Northrop Grumman», «ITT Industries».
- система РЭБ AN/ALE-52 производства корпорации «BAE Systems» (Великобритания).

Американский единый ударный истребитель пятого поколения F-35 Joint Strike Fighter¹³ корпорации «Lockheed Martin» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/APG-81 производства компании «Northrop Grumman»;

¹³ Также используется Военно-морскими силами США и Корпусом морской пехоты США.

- генератор (электричество и преобразовательная система) и электроприводы производства компании «Hamilton Sundstrand»¹⁴.

Американский сверхзвуковой стратегический бомбардировщик с крылом изменяемой стреловидности B-1B Lancer производства компании «Boeing» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/ALR-56, AN/APQ-164, Sniper XR производства компаний «BAE» (Великобритания), «Northrop Grumman», «Lockheed Martin»;
- системы РЭБ AN/ALE-50, AN/ALE-55, AN/ALQ-161A, AN/ALQ-214 IDECM производства корпораций «Raytheon», «BAE Systems» (Великобритания), «EDO Corp», «ITT Industries».

Американский сверхдальний стратегический бомбардировщик-ракетоносец B-52 производства корпорации «Boeing» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/ALR-46, AN/ALR-56, LITENING AT, LITENING II производства компаний «Northrop Grumman», «BAE» (Великобритания), «Rafael» (Израиль).
- системы РЭБ (AN/ALQ-122, AN/ALQ-155, AN/ALQ-172 производства корпораций «Northrop Grumman», «ITT Industries».

Американский военно-транспортный самолёт средней и большой дальности C-130¹⁵, поставляемый компанией «Lockheed Martin», включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Rolls-Royce»;

¹⁴ См. официальный сайт компании - <http://www.hamiltonsundstrand.com>

¹⁵ Также используется Армией США и Корпусом морской пехоты США.

- сенсорные и коммуникационные системы AN/ALR-46, AN/ALR-69, MWS-20 производства компаний «Northrop Grumman», «Raytheon»;
- системы РЭБ AN/ALQ-156, AN/ALQ-157, AN/ALQ-173 производства «BAE Systems» (Великобритания).

Американский боевой самолёт управления и целеуказания E-8C Joint Stars¹⁶ корпорации «Northrop Grumman» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/APY-3, FBCB2 производства компании «Northrop Grumman».

В системе спутниковой связи Milstar и последующих ее модификациях, поставляемых компанией «Lockheed Martin», используются радиочастотные, микроволновые и антенные подсистемы с редкоземельными металлами Milstar-2 производства корпорации «Boeing».

Комплект оборудования на основе технологии GPS, преобразующий свободнопадающие бомбы во всепогодные корректируемые («умные», англ. "smart") боеприпасы Joint Direct Attack Munition (JDAM) ¹⁷, производимый компанией «Boeing», включает в себя редкоземельные приводы, расположенные в задней части бомбы, поставляемые компанией «HR Textron», а также электродвигатели компании «sL Montevideo».

Американский малозаметный стратегический бомбардировщик B-2 Stealth Bomber производства компании «Northrop Grumman» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAR-54 и AN/APQ-181 производства компаний «Northrop Grumman», «Raytheon»;
- систему РЭБ AN/APR-50 производства компании «Lockheed Martin».

¹⁶ Также используется Армией Корпусом морской пехоты США.

¹⁷ Также используется Военно-морскими силами США.

Американский самолет электронной разведки RC-135 производства корпорации «Boeing» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «CFM International» (совместное предприятие «Snecma» (Франция), 50% и «General Electric», 50%);
- сенсорные и коммуникационные системы AN/APN-242 производства компании «Sperry Marine» (входит в «Northrop Grumman»);
- систему РЭБ AN/ALE-47 производства компании «BAE Systems» (Великобритания).

Американский реактивный четырёхдвигательный специализированный многофункциональный военно-транспортный самолет KC-135 производства корпорации «Boeing» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «CFM International» (совместное предприятие «Snecma» (Франция), 50% и «General Electric», 50%);
- сенсорные и коммуникационные системы AN/APN-242 производства компании «Sperry Marine» (входит в «Northrop Grumman»).

Армия США. Армия США (Сухопутные войска США) закупает следующие наименования продукции военного назначения, содержащей редкоземельные металлы.

Противотанковая ракета Javelin Missile производства корпораций «Lockheed Martin» и «Raytheon» имеет редкоземельные приводы стабилизаторов, поставляемые компанией «Parker-Hannifin»¹⁸.

Высокоточный управляемый снаряд Excalibur Artillery Shell¹⁹ производства корпорации «Raytheon» имеет редкоземельные приводы стабилизаторов схемы «утка», поставляемые компанией «General Dynamics OTS» (Versatron).

¹⁸ См. официальный сайт компании - <http://www.parker.com>

¹⁹ Также используется Корпусом морской пехоты США.

Вертолет спецназначения MH-60R Strikehawk, поставляемый корпорациями «Lockheed Martin» и «Sikorsky Aircraft Corp», включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAS-52, AN/APS-147, AN/AQS-22 ALFS, AN/ARC-210, ARPDDS, AN/AAS-44(C) производства компаний «Raytheon», «Telephonics», «Rockwell Collins», «Lockheed Martin»;
- системы РЭБ AN/ALQ-144A, AN/ALQ-210 производства компаний «BAE Systems» (Великобритания), «Lockheed Martin».

Американский боевой танк M1A1 Abrams Tank, поставляемый компанией «General Dynamics» (подразделение наземных систем), включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Honeywell»;
- сенсорную систему LRS-2000 Rate Sensor производства компании «Northrop Grumman»;
- комплект для повышения огневой мощи танка Firepower Enhancement Program производства компании «Raytheon».

Корпус морской пехоты США. Данный вид американских вооруженных сил закупает следующие наименования продукции военного назначения, содержащей редкоземельные металлы.

Американский палубный истребитель-бомбардировщик и штурмовик F-16²⁰, производимый корпорацией «Boeing» («McDonnell Douglas»), включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAR-50, AN/AAS-38, AN/APG-65, LITENING AT, ALR-67 производства компаний «Raytheon», «Hughes Aircraft», «Lockheed Martin»;

²⁰ Также используется Военно-морскими силами США.

- систему РЭБ AN/ALQ-126B производства компании «BAE Systems» (Великобритания).

Американский палубный самолёт EA-6B Prowler²¹, предназначенный для ведения радиоэлектронной борьбы и разведки, производимый корпорацией «Northrop Grumman», включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Pratt & Whitney»;
- сенсорные и коммуникационные системы LITENING AT производства компаний «Northrop Grumman» и «Rafael» (Израиль);
- системы РЭБ AN/ALQ-126B, AN/ALQ-218 TJSR, AN/ALQ-99 TJS (20) производства компаний «BAE Systems» (Великобритания), «Northrop Grumman», «Times Microwave», «Selex Sensors», «Airborne Systems».

Истребитель Harrier производства компании «Boeing» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Rolls-Royce»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAR-57 CMWS, AN/ALR-67, LITENING, LITENING AT, LITENING ER, LITENING II) производства компаний «BAE Systems» (Великобритания), «Raytheon», «Northrop Grumman» и «Rafael» (Израиль);
- систему РЭБ AN/ALQ-164 производства компании «BAE Systems» (Великобритания).

Американский тяжелый десантно-транспортный вертолет CH-53 Sea Stallion²² производства корпорации «Sikorsky Aircraft Corp.» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;

21 Также используется Военно-морскими силами США.

22 Также используется Военно-морскими силами США.

- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAR-60, AN/ALR-46 производства компаний «EADS» (EC), «MBDA» (EC), «Northrop Grumman»;
- системы РЭБ AN/ALQ-157, AN/ALE-47, AN/AAQ-24 производства компаний «BAE Systems» (Великобритания), «Northrop Grumman».

Американский средний военно-транспортный вертолет CH-46 Sea Knight производства корпорации «Sikorsky Aircraft Corp.» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- системы РЭБ AN/ALQ-157, AN/ALE-47, AN/AAQ-24 производства компаний «BAE Systems» (Великобритания), «Northrop Grumman».

ВМС США. Военно-морские силы США закупает следующие наименования продукции военного назначения, содержащей редкоземельные металлы.

Корабельный зенитный артиллерийский комплекс Phalanx CIWS производства компании «Raytheon» включает моторы на постоянных редкоземельных магнитах для подъема орудий, производимые компанией «Kollmorgen».

Эскадренные миноносцы с ракетным вооружением Zumwalt Destroyer производства компании «Northrop Grumman» используют моторы на постоянных редкоземельных магнитах, поставляемые компанией «DRS Technologies».

Американский палубный самолет радиоэлектронной борьбы EA-18G Growler, производимый корпорацией «Boeing», включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/APG-79, JHMCS (2) производства компаний «Raytheon» и «Boeing»;
- системы РЭБ AN/ALE-47, AN/ALQ-218 TJSR, AN/ALQ-99 TJS, INCANS, Next Generation Jammer производства компаний «BAE Systems»

(Великобритания), «Northrop Grumman», «Times Microwave», «Selex Sensors and Airborne Systems», «EDO Corp».

Американский палубный самолёт дальнего радиолокационного обнаружения «E-2 Hawkeye» производства корпорации «Northrop Grumman» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «Rolls-Royce»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/ALR-73, AN/APS-145, AN/APX-100 (V) производства компаний «Northrop Grumman» и «Raytheon»;
- систему РЭБ AN/ALQ-217 производства компании «Lockheed Martin».

Американский противолодочный двухдвигательный вертолет MH-60R Seahawk производства компаний «Lockheed Martin» и «Sikorsky Aircraft Corp.» включает следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- двигатели производства компании «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы AN/AAS-52, AN/APS-147, AN/AQS-22 ALFS, AN/ARC-210, ARPDDS, AN/AAS-44(C) производства компаний «Raytheon», «Telephonics», «Rockwell Collins», «Lockheed Martin»;
- системы РЭБ AN/ALQ-144A, AN/ALQ-210 производства компаний «BAE Systems» (Великобритания), «Lockheed Martin».

Американская корабельная пусковая установка Nulka MK 53 Decoy производства корпорации «BAE Systems Australia» включает следующие элементы с использованием редкоземельных металлов.

- Систему РЭБ (Electronic Warfare Payload), производимую компанией «Lockheed Martin»;
- Твердотопливный ракетный двигатель, поставляемый компанией «Aerojet».

Американские многоцелевые атомные подводные лодки класса «Вирджиния» (Virginia-class Submarine) производимые «General Dynamics Electric Boat» и «Northrop Grumman Newport News», имеют следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- силовая установка, поставляемая корпорацией «General Electric»;
- сенсорные и коммуникационные системы A-RCI, AN/BPS-16, Sub HDR, TB-29, TB-34, поставляемые компаниями «Lockheed Martin», «Northrop Grumman», «Raytheon».

Американский береговой патрульный самолет P-3 Orion, поставляемый компанией «Lockheed Martin», имеет следующее оборудование с использованием редкоземельных металлов:

- сенсорные и коммуникационные системы AN/ASQ-81, поставляемые компанией «Raytheon»;
- систему РЭБ AN/ALQ-157 производства компании «BAE Systems» (Великобритания).

Использование редкоземельных металлов в ракетах, самолетах, радарных системах, средствах РЭБ

Среди продукции военного назначения, широко использующей редкоземельные металлы и их сплавы, особо следует отметить ракеты и «умные» бомбы, которые относятся к высокоточному оружию (*Precision guided munitions, PGM*)²³. Выделяют 8 классов ракетного оружия: «воздух-воздух», «воздух-земля», воздушные бомбы, крылатые ракеты, противокорабельные ракеты, «земля-воздух», «земля-земля» и стратегическое ядерное оружие. Большинство ракет в каждом из классов включают в себя изделия из редкоземельных металлов. Данные по производству ракет основываются на информации правительства США и его подрядчиков, Армии США, ВМФ, ВМС, Национальной гвардии, Корпораций «Боинг», «Локхид Мартин» и «Рейтион». В каждой ракете используются

²³ Hedrick, James B. Rare Earth in Selected US Defence Applications // 40th Forum on the Geology of Industrial Minerals, Bloomington, Indiana, US. May 2004. - <http://www.usmagneticmaterials.com/documents/RARE-EARTHS-IN-US-DEFENSE-APPS-Hendrick.pdf>

электродвигатели с постоянными самарий-кобальтовыми магнитами для управления стабилизаторами полета²⁴.

Ракеты класса «воздух-воздух». К ракетам данного класса относятся AIM-9 «Сайдвайндер»²⁵ (англ. Sidewinder – гремучая змея), AIM-54 «Феникс»²⁶ и AIM-120 AMRAAM²⁷ (Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile – всепогодная управляемая ракета класса «ВОЗДУХ—ВОЗДУХ» средней дальности).

AIM-9 «Сайдвайндер», которая использует инфракрасные головки самонаведения, имеет четыре стабилизатора, устанавливаемых в передней части фюзеляжа, который управляют траекторией полета с использованием электродвигателей с магнитами из редкоземельных металлов. Основные производители данной ракеты- американские компании General Electric, Ford Aerospace, Philco (в составе Philips), Motorola, Raytheon, а также Bodenseewerk Gerätetechnik (ФРГ), Mitsubishi (Япония)

AIM-54 «Феникс» - ракета большой дальности, оснащённая комбинированной (полуактивной/активной) радиолокационной системой наведения. Направляют ракету электродвигатели с постоянными самарий-кобальтовыми магнитами, управляющие стабилизаторами, расположенными в задней части ракеты.

24 Hedrick, James B. and Templeton, David A., 1991, Rare-earth minerals and metals in Minerals Yearbook 1989: U.S. Bureau of Mines, v. I, p. 1211-1237.

25 Управляемая ракета класса «воздух-воздух» малого радиуса действия. Состоит на вооружении с 1956. Оснащена инфракрасной системой наведения с теплоискателем. Ее современная модификация [AIM-9R] отличается компактностью (длина 2,9 м, диаметр - 12,2 см, вес около 86 кг). Экспериментальная модификация [AIM-9X] приспособлена для установки на самолетах типа «Стелс». Название Sidewinder ракета получила из-за использования принципа поиска цели по теплоизлучению, также как это делает американская рогатая гремучая змея.

26 Ракеты данного класса предназначались для защиты авианосных ударных групп от носителей противокорабельных ракет большой дальности. Разрабатывалась фирмой Hughes Aircraft с 1960 г. и стояла на вооружении ВМС США в 1974—2004 годах. Кроме США, поставлялась ВВС Ирана. Носители этой ракеты — палубный перехватчик F-14 «Томкэт» и F-15N Sea Eagle.

27 Разрабатывалась фирмой Hughes Aircraft с 1981 года и была принята на вооружение ВВС США в 1991 году. Кроме США, состоит на вооружении ВВС Великобритании, Германии и ряда других стран-членов НАТО. Является основным вооружением истребителей F-15C, F-15E, F-16, F/A-18C/D, F/A-18E/F, F-22.

Ракета *AIM-120 AMRAAM* пришла на смену ракете *AIM-7*. Стабилизаторы крепятся в средней части фюзеляжа и направляются самарий-кобальтовыми приводами.

Производством *AIM-54 «Феникс»* и *AIM-120 AMRAAM* занимались компании Hughes Aircraft и Raytheon. После поглощения компании Hughes в 1997 г. (о консолидации ВПК США см. ниже), единственным производителем ракет является компания Raytheon.

Ракеты класса «воздух-земля». Авиационная управляемая ракета класса «воздух-земля» *AGM-84E SLAM* (Stand-Off Land Attack Missile) предназначена для поражения кораблей и береговых объектов. Создана на базе противокорабельной ракеты *AGM-84 Harpoon*. Для наведения ракеты применяется инерциальная навигационная система с коррекцией по данным космической радионавигационной системы и на конечном участке тепловизионная головка самонаведения, сопряженная с линией передачи изображения цели на борт самолета-носителя. Редко-земельные приводы управляют стабилизаторами, устанавливаемыми в средней части фюзеляжа и имеющими радиус действия около 70 миль (113 км). Ракета производится компаниями «Макдонелл Дуглас» и «Боинг Дефэнс, Спейс энд Секьюрити».

*AGM-88 HARM*²⁸ (англ. High-speed Anti-Radar Missile - высокоскоростная противорадиолокационная ракета, HARM — Вред) - американская высокоскоростная противорадиолокационная ракета. Стабилизаторы направляются редкоземельными магнитами, которые управляют ракетой на основе данных, получаемых от микроволновых сенсорных устройств, производимых также с использованием редкоземельных металлов. Ракета была разработана и производилась компанией «Texas Instruments», с 1997 г. оборонное подразделение было продано компании «Raytheon», которая и производит ракеты в настоящее время.

²⁸ Ракета принята на вооружение в 1983 г. и уже через три года использовались во время операции против Ливии. Ракеты «AGM-88» широко применялись и во время войны в Персидском заливе. Ими оснащают самолёты А-6 «Интродер», F-4 «Фантом», F-16 «Файтинг Фалкон», F/A-18 «Хорнет», F-111 «Аардварк» и «Торнадо». Последние модификации предназначены для поражения РЛС со сменой рабочих частот.

Ракеты для ПЗРК «Стингер». Небольшие, легкие и переносные ракеты для «Стингера» можно легко перевозить на автомобиле. Ракеты имеют тепловые датчики в передней части и компьютер, который направляет их непосредственно на двигатели самолетов с использованием редкоземельных металлов для контроля стабилизаторов. Они могут сбить самолет на высоте 11,500 футов (3,505 метров) и достигать скорости числа Маха, равного 2 (двухкратной локальной скорости звука). В настоящее время компания «Raytheon» выпускает ракеты для «Стингера» следующих модификаций - *FIM-92D, FIM-92E Block I и FIM-92E Block II.*

Крылатые ракеты.

Ракета BGM-109 «Томагавк» (Tomahawk) — американская многоцелевая высокоточная дозвуковая крылатая ракета большой дальности, стратегического и тактического назначения. Находится на вооружении кораблей и подводных лодок ВМС США. Система наведения «Томагавка» соединена со стабилизаторами полета, находящимися в хвостовой части, которые направляются приводами с использованием редкоземельных металлов. Первоначально ракеты производила корпорация «General Dynamics», в настоящее время – «Raytheon» и «McDonnell Douglas».

«Умные бомбы». *Joint Direct Attack Munition (JDAM)* — комплект оборудования на основе технологии GPS, преобразующий существующие свободнопадающие бомбы («тупые» бомбы, англ. "dumb bombs") во всепогодные корректируемые («умные», англ. "smart") боеприпасы. Разработан в США, первый комплект выпущен в 1997 г. фирмой «Boeing». Программа разработки JDAM является объединённой программой ВВС США и ВМС США. Существуют следующие модификации бомб различного калибра - *GBU-29* (350-фунтовые), *GBU-30* (500-фунтовые), *GBU-31* (2,000-фунтовые), *GBU-32* (1,000-фунтовые), *GBU-35* (1,000-фунтовые), и *GBU-38* (500-фунтовые).

Существуют также другие бомбы, оснащаемые оборудованием с использованием GPS-систем и приводов с редкоземельными металлами, разработанные корпорацией «Northrop Grumman», - *Global Positioning System*

Aided Munitions (GAM) - GBU-36/B (2,000-фунтовые) и GBU-37/B (4,500-фунтовые), известные как «разрушители бункеров»²⁹.

JDAM представляет собой комплект из крыльев, крепящихся в средней части бомбы, и хвостового блока, имеющего управляемое оперение, позволяющее бомбе маневрировать. Там же находится и компьютер с навигационным оборудованием. Бомбы, оборудованные комплектом JDAM, направляются к цели интегрированной инерциальной системой наведения в паре с GPS-приёмником улучшенной точности, обеспечивая им объявленную дальность действия в 15 морских миль (28 км) от точки сброса. Для контроля направления при сбросе бомб используются магниты «ниодим-железо-бор» (NdFeB).

Лазеры. Вооруженные силы США используют *Nd:YAG- лазеры* (алюмо-иттриевый гранат с добавками неодима) в качестве дальномеров, целеуказателей и систем обнаружения. Вооружение американских танков и другой бронетехники включает лазеры (изготавливаемые с использованием редкоземельных металлов) для определения целей противника на расстояниях свыше 22 миль (35 км). Портативные дальномеры, используемые пехотой, имеют радиус действия минимум 9 миль (14 км). Портативные целеуказатели, которые освещают цель сфокусированным лазерным лучом, имеют радиус действия до 30 миль (48 км), в то время как лазеры, устанавливаемые на самолетах, - до 80 миль (129 км). Компьютерный лазерный прицел на танках Абрамс M1A1/2 включает дальномер компании «Raytheon», а также систему лазерного наведения для высокоточного первого выстрела.

Редкоземельные лазерные системы используются как для обнаружения противника, так и для постановки помех. Короткий лазерный импульс, зачастую в ультрафиолетовом диапазоне, передается для освещения объекта и позволяет датчику обнаружить, является ли данный объект своим или вражеским. При этом определяется тип объекта, скорость, направление

²⁹ Kopp, Carlo, 1996, GPS Part III - US direct attack munition programs: Australian Aviation, October, p. 52-24.

движения, тип вооружения. Другой тип лазерных систем обнаруживает оптические устройства противника, после чего создает помехи для обнаружения себя, либо уничтожает системы противника. Третий тип лазерных систем, устанавливаемый обычно на ракетах, пускает лазерные импульсы заданной частоты, которые отражаются от различных объектов на поле боя. За доли секунды он получает условный сигнал (или ответ) от «своих» объектов и запускает ракеты для уничтожения «чужих» или неопознанных объектов. В основе системы обнаружения подводных мин также лежит редкоземельная лазерная система. Воздушная лазерная система «Волшебный фонарь» использует голубой/зеленый двухчастотный лазер Nd:YAG для подводного сканирования³⁰.

Коммуникации. В волноводах *ламп бегущей волны* (ЛБВ) и *клистронов*, генерирующих и усиливающих микроволны, используются редкоземельные магниты. В оборонной сфере ЛБВ и клистроны используются в спутниковой связи, тропосферной связи, в радарных импульсных усилителях или усилителях постоянного тока, в каналах связи. Для фокусировки пучка электронов в широкополосных спиральных ЛБВ используются периодические постоянные редкоземельные магниты, в то время как в узкополосных клистродах и при более высоких энергиях используются непериодические постоянные магниты. Редкоземельные лазеры используются в радиорелейных каналах связи в спутниковых и наземных системах. Лазерные коммуникационные системы имеют ограниченное использование в спутниковой связи на основе геостационарных и геосинхронных орбит, но предполагается их более широкое использование в связи в спутниках низкой земной орбиты. Высокочастотные лазеры позволяют быстрее и в более широком диапазоне передавать данные, чем традиционные микроволновые передатчики.

30 Military & Aerospace, 1997, Navy moves to LIDAR for minehunting. Military & Aerospace Electronics, February, v. 8, no. 2, p. 1.

Эрбиевое волокно и волоконно-оптические усилители используются в высокопроизводительных оптоволоконных системах. В полевых условиях развертывание сетки оптоволоконной связи может быть оперативно осуществлено наземными войсками, транспортом или вертолетами. Преимуществом эрбиевого оптоволоконного кабеля является способность передавать большие объемы цифровой информации на большие расстояния без ретрансляторов или усилителей сигнала, а также широкий диапазон рабочих температур, устойчивость к межканальным переключениям, защищенность от внешнего вмешательства и электронного перехвата.

Редкоземельные динамики. Магниты «ниодим-железо-бор» (NdFeB) используются в динамиках и других компонентах аудиосистем (кассеты, жесткие диски, CD/DVD диски), применяемых для ведения психологических войн. Например, в Эфиопии в темное время суток была проведена имитация высадки десанта с использованием звуков из динамиков, установленных на плотках, которые имитировали шум кораблей, танков, вертолетов и голоса. В это время настоящий десант спокойно высадился в нескольких милях от данного места. Самарий-кобальтовые магниты или постоянные редкоземельные магниты «ниодим-железо-бор», а также тербий-железо-никелевый сплав с диспрозием (*Terfenol-D*) используется в технологии «стелс» в вертолетах с тем, чтобы создать белый шум, заглушающий шум от движения лопастей несущего винта. *Terfenol-D*, магнитострикционный сплав, был первоначально разработан исследователями лаборатории ВМФ США для использования в качестве преобразователя в звуковых локаторах³¹. Сенсоры определяют уровень шума или вибрации, затем компьютеры подают команду приводам, произведенным из *Terfenol-D*, выдавать аналогичный по силе и частоте шум, но в противофазе, заглушая тем самым первоначальный шум.

Самолеты. Самарий-кобальтовые постоянные магниты используются в генераторах, которые подают электричество в электросистемы самолетов. В

³¹ Clark, A.E., 1980, Magnetostrictive rare earth-Fe₂ compounds: Ch. 7 in Ferromagnetic materials, Wohlfarth, E.P. ed., Amsterdam, Netherlands, North-Holland Publishing Co., v. 1, p. 531-589.

добавок, небольшие, но мощные приводы на редкоземельных металлах используются для механизации крыла, в т.ч. в закрылках, руле направления, элеронах.

Цирконий, стабилизированный оксидом иттрия, - это высокотемпературное защитное керамическое покрытие, которое используется как термический барьер для защиты металлических сплавов от нагреваемых частей авиадвигателей. Оксид иттрия предохраняет цирконий от смены тетрагональной структуры на моноклинную, что приводит к ухудшению устойчивости керамики к высоким температурам и напряжению. Керамическое покрытие использовалось, например, в турбовентиляторном двигателе F100-PW-229 компании «Pratt & Whitney», который устанавливался на истребители «F15 Eagle» компании «McDonnell Douglas» и «F16 Fighting Falcon» компании «Lockheed Martin»³².

Дисплеи. Цветные телевизоры и компьютерные мониторы – это ключевой элемент во многих системах управления оборонного назначения, призванных быстро отображать и передавать информацию, особенно в авионике и система усиления видимости. Редкоземельные металлы использовались в цветных катодно-лучевых трубках (КЛТ) в качестве фосфора с начала 1960-х гг. Европий-иттриумные компоненты используются в качестве красного (свободного) фосфора в КЛТ-экранах из-за того, что пик их спектр излучения приходится на видимую область (611 нанометров). Цветные SuperVGA (англ. Super Video Graphics Array) мониторы обычно используются от среднего до короткого послесвечения. Это позволяет быстро сменять SVGA изображения и избегать появления бликов. Оксид церия используется как добавка в стекле КЛТ, чтобы устранить эффект потемнения стекла катодной трубки под действием электронного пучка и как элемент полировочного вещества для КЛТ-экранов. В современных технологиях используются жидкокристаллические мониторы (LCD) на плоскопанельных дисплеях

32 Hedrick, James B., 1990, Zirconium and hafnium in Minerals Yearbook 1988: U.S. Bureau of Mines, v. I, p. 1049-1057.

компьютеров, авионики и систем управления вооружениями. Плоскопанельные дисплеи (FPD) обычно используют либо твист-нематическую (скрученную нематическую) /супертвист-нематическую (TN/STN) тонкопленную транзисторную (TFT) LCD-технологиию либо плазменные дисплейные панели (PDP)³³.

Все эти плоскопанельные дисплеи имеют стеклянные поверхности или основы, которые полируются оксидом церия. Дисплеи в авионике для большего свечения используют фосфор с добавлением оксисульфидов гадолиния или лантана с присадкой тербия. Эти редкоземельные авиационные фосфоры вызывают желто-зеленое свечение, спектр которого 542 и 545 нанометров, соответственно³⁴. Устанавливаемые на танки Abrams M1A1/2 тепловизионный прибор механика-водителя AN/VSS-5, изготавливаемый компанией «Raytheon» позволяет водителю видеть горизонт при помощи микроволновой (7,5-13 микрон) многоэлементной антенной решетки (антенна радиолокатора).

Радарные системы. Редкоземельные металлы имеют ряд применений в радарных системах. Редкоземельные постоянные магниты, обычно самарий-кобальтовые, используются в радарных лампах бегущей волны (ЛБВ) для фокусировки энергии микроволн. Железо-иттриевый гранат (YIG) или гадолиний-иттриевый гранат (YGG) используются в переключателях фаз, тьюнерах и фильтрах. Данные системы используются в зенитно-ракетных комплексах PATRIOT (ArrayTracking to Intercept of Target)³⁵. Самарий-

³³ Asahi Glass Co. Ltd., 2003, Overview of flat panel display business, accessed March 16, 2004, at URL http://www.agc.co.jp/english/ir/pdf/FPD_2003_1e.pdf.

³⁴ *Teckotsky, Melvin*, 1981, Industrial applications of rare earth phosphors: Presented at 15th Rare Earth Research Conference, Rolla, MO, June 15-18, 1981.

³⁵ *Hamant, Daniels*, 1977, Microwave, aerospace, and nuclear applications of rare earth-cobalt magnets: Waltham, MA, Raytheon Company, September 26, 12 p.

кобальтовые магниты используются в ЛБВ как ракетных, так и радарных систем³⁶.

Гадолиний-иттриевый гранат (YGG) используется в тороидах в антенне радиолокаторы PATRIOT и в радиочастотных циркуляторах радара и ракеты. Радиочастотные циркуляторы путем магнитной фокусировки управляют потоком электронных сигналов. Самарий-кобальтовые постоянные магниты используются для фокусировки пучка электронов в магнетронных трубках радара. Магнетронные трубки используются в радарх наземных систем управления воздушным движением и наблюдения, поисковых радарх, в радарх управления системы вооружений. Защитный радар также используется для предотвращения столкновений и в качестве навигационной помощи в самолетах. Усилители магнетронного типа (CFA) работают в среднем диапазоне, со средним усилением и передают исходящие сигналы в меньшем и более легком единичном весе, чем традиционные микроволновые трубки. CFA используются в наземных, воздушных и фазированных локационных приборах. Исходящий поток обычно фокусируется при помощи самарий-кобальтовых магнитов. CFA используется в радиолокационных системах радара AN/SPY-1 систем AEGIS, используемых ВМС. Радар AEGIS и антенная решетка ракеты – это наиболее передовые элементы корабельной системы, используемой для противоракетной и противовоздушной обороны. Иттрий используется в некоторых катодах ЛБВ, эмитирующих электроны, а также в магнетронах и других устройствах.

Покрытия. Гадолиний, используемый в качестве краски или покрытия, применяется как защитная мера против нейтронной радиации. Гадолиний, который имеет наибольшее нейтронное эффективное сечение захвата из всех элементов, используется для поглощения высокоактивных нейтронов.

36 На основе устных сообщений Роберта Ф.Хатема, менеджера по отношениям с клиентами; Ховарда Л.Грейвса, Программа PATRIOT, корпорация Raytheon, Бедфорд, Массачусетс, 25 июня 1993 г. Подробнее см. Hedrick, James B. Rare Earth in Selected US Defence Applications // 40th Forum on the Geology of Industrial Minerals, Bloomington, Indiana, US. May 2004. - <http://www.usmagneticmaterials.com/documents/RARE-EARTHS-IN-US-DEFENSE-APPS-Hendrick.pdf>

Оптическое оборудование. Компоненты на основе церия используются как полирующее средство для различных типов оптических линз военного назначения. Многие из этих линз также дополнительно содержат оксид лантана для повышения лучепреломления и снижения дисперсии. Отполированные оптические линзы используются для замера дальности, целеполагания, наблюдения, систем обнаружения, создания помех, фотографирования и защиты от вредных лазерных излучений, ослеплений, ультра-фиолетовых или отраженных лучей. Оптика с содержанием редкоземельных металлов используется в биноклях, оптических приборах винтовок, лазерных прицелах, телескопах, микроскопах, защитных очках, дальномерах, приборах ночного видения, линзах камер, фильтрах и защитных линзах.

Гидролокаторы. Сплав редкоземельных металлов Terfenol-D заменяет пьезокерамические материалы в некоторых устройствах, включая высокомогущный гидролокаторы на кораблях и подводных лотках. Terfenol реагирует на магнитное поле в 200 раз быстрее, чем механическое устройство. Недавно его также начали использовать как инжектор дизельного топлива, позволяющий мгновенно подстраивать размер для впрыска необходимого количества топлива. Terfenol также используется в приводах для того, чтобы быстро, мощно и максимально точно направлять, выправлять, выставлять и контролировать различные типы оборудования, такие как лазеры, отражатели и линзы.

Ультразвуковые преобразователи. Ультразвуковые устройства с использованием редкоземельных металлов, вызывающие колебания в частотном диапазоне 16 kHz - 1 GHz, которые не могут быть услышаны человеком, используются в звуковой химии, ультразвуковой сварке, переработке пищи, переработке отходов, ультразвуковых инструментах, медицинском оборудовании, ручном инструменте и для дезинфекции.

Акустические преобразователи. Акустическая энергия Terfenol вырабатывается за счет распространения и сужения высоко настроенных акустических элементов, выдающих акустические волны высокого давления.

В нефтяной промышленности данное свойство используется в скважинных приборах для увеличения подачи нефти. Эта акустическая или звуковая энергия высвобождается из-за изменений давления. Использование акустической или вибрационной энергии в нефтяных залежах влияет на нефтеотдачу несколькими способами. Вибрация уменьшает поверхностное натяжение между нефтью и каменной стеной, позволяя нефти выходить из пор и вытекать в ствол скважины. Эта же вибрационная энергия также приводит к уничтожению поверхностных пленок, мешающих нефти вытекать из пор.

Компьютеры. Компьютеры имеют постоянные магниты «неодим-железо-бор», которые используются во многих системах вооружений. Спроектированные для нейтрализации вибрации, толчков и силы притяжения, управляемые компьютером моторы и приводы с редкоземельными металлами устанавливаются в самолетах, танках, ракетных системах, командных и контрольных центрах.

Радиоэлектронная борьба. Радиоэлектронная борьба (РЭБ) включает широкий спектр применений. Системы радиопротиводействия – это оборудование, позволяющее обнаруживать целый ряд электронных сигналов и передач на поле боя. Интерактивное РЭБ-оборудование позволяет создавать помехи, поглощать, перенаправлять или искажать радиосигнал. При создании помех первоначальный электронный сигнал противника изменяется таким образом, что становится зашифрованным или бесполезным. Системы радиопротиводействия также могут перехватывать сигналы радар и блокировать передачу обратных сигналов посредством подбора или переключения радиоволн. Данные радаров могут перехватываться, анализироваться и возвращаться в искаженном виде, что позволяет указывать ложные цели. Интерактивные РЭБ-системы также используются для перехвата голоса и волновых передач, анализа сообщений, изменения сообщений и передачи ложной информации, которая может вводить в заблуждение, изменять или даже отменять задания противника.

Редкоземельные металлы, включая гадолиний, иттриум и самарий используются в нескольких типах оборудования для РЭБ, включая т.н. функцию обнаружения преследования (Tail Warning Function, TWF). TWF – это защитная система, которая использует импульсный радар Доплера для обнаружения ракет, приближающихся к самолету сзади, и предпринимающая ответные меры для нейтрализации атаки путем применения методов РЭБ.