

.УДК 55; 504; 524

**В.Т. Трофимов<sup>1</sup>, М.А. Харькина<sup>2</sup>, А.Д. Жигалин<sup>3</sup>, Т.А. Барабошкина<sup>4</sup>**

## ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АБИОТИЧЕСКИХ СФЕР ЗЕМЛИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет.  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1*

*Moscow State University, Faculty of Geology. 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

Военная деятельность приводит к трансформации всех экологических функций абиотических сфер Земли как в мирное, так и в военное время. Представлена типизация последствий изменения экологической обстановки, обусловленной проявлением экологических функций абиотических сфер Земли, при испытании оружия, ракетно-космической техники и ведении боевых действий.

**Ключевые слова:** испытания оружия, запуски ракет, индуцированные землетрясения, химические аномалии, радиационные аномалии, температурные аномалии, литосфера, гидросфера, атмосфера, растительность, человек.

Military activities lead to the transformation of all the ecological functions of the abiotic spheres of the Earth both in peace and wartime. The typification of the consequences of ecological situation changes caused by the development of the ecological functions of the abiotic spheres of the Earth under testing of weapons, rocket and space techniques and during conduct of hostilities are presented.

**Key words:** tests of weapons, missile launches, induced earthquakes, chemical anomalies, radiation anomalies, temperature anomalies, lithosphere, hydrosphere, atmosphere, vegetation, man.

**Введение.** Военная деятельность представляет собой специфический многогранный род деятельности. По мере развития цивилизации военные столкновения все сильнее влияют на компоненты экосистем и население планеты, достигнув максимума в XX в. История войн это и история уничтожения продуктивной части населения планеты ради доступа к природным ресурсам. В мирное время военную деятельность можно рассматривать как сочетание промышленной, коммунальной и научной деятельности, тогда как на этапе активных

военных действий она приобретает иные, свойственные только ей черты, что и обуславливает доминирующую роль тех или иных видов и уровень оказываемого воздействия на экологические функции абиотических сфер Земли.

Понятие «экологические функции геосферных оболочек Земли» ввел В.В. Куриленко [Куриленко, 2002], а В.Т. Трофимов [Трофимов, 2005; Трофимов, Куриленко, 2015] выделил ресурсную<sup>5</sup>, геодинамическую<sup>6</sup>, геохимическую<sup>7</sup> и геофизическую<sup>8</sup> экологические функции абиотических сфер

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, заведующий кафедрой, профессор; e-mail: trofimov@geol.msu.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, ст. науч. с.; e-mail: kharkina@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, вед. науч. с.; Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, вед. науч. с.; e-mail: zhigalin.alek@yandex.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, ст. науч. с.; Институт стран Азии и Африки, кафедра экономики и экономической географии, ст. науч. с.; e-mail: baraboshkina@mail.ru

<sup>5</sup> Ресурсная экологическая функция абиотических сфер Земли определяет роль органических, минеральных и органоминеральных твердых, жидких и газообразных ресурсов геосферных оболочек Земли, а также литосферного, атмосферного и гидросферного пространства для жизни и деятельности биоты как в качестве биоценоза, так и социальной структуры.

<sup>6</sup> Геодинамическая экологическая функция абиотических сфер Земли отражает способность литосферы, атмосферы и поверхности гидросферы влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления.

<sup>7</sup> Геохимическая экологическая функция абиотических сфер Земли определяет свойства геохимических полей литосферы, атмосферы и поверхности гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни и состояния биоты в целом, включая здоровье человека.

<sup>8</sup> Геофизическая экологическая функция абиотических сфер Земли отражает свойства природных и техногенных геофизических полей литосферы, атмосферы и поверхности гидросферы влиять на условия жизни биоты в целом, включая здоровье человека.

Земли, под которыми он понимает все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение геосфер, включая их состав, объем, динамику функционирования, геохимические и геофизические поля в жизнеобеспечении биоты, и в первую очередь человеческого сообщества.

**Трансформация экологических функций литосфера под влиянием военной деятельности.** **Трансформация ресурсной экологической функции литосферы.** Военная деятельность существенным образом затрагивает ресурсы геологического пространства. Площадь территорий, контролируемых военными на планете, по разным данным оценивается в 750 тыс. — 1,5 млн км<sup>2</sup>. Эти территории исключаются из любого другого вида использования ввиду секретности военных объектов, а также из-за их потенциальной опасности. Речь идет только о территориях, конкретно принадлежащих военным ведомствам и не используемых в других целях. Площади территорий, подверженных влиянию военной деятельности, гораздо обширнее — это площади, периодически отводимые для маневров и учебных выходов на местность, выделенные под районы падения отработавших ступеней ракет (по официальным данным в России эта площадь составляет 20 млн га), а также территории, загрязненные в результате деятельности военных объектов [Геологическое..., 2014].

С ростом технической оснащенности армии потребность вооруженных сил в земельных угодьях постоянного и временного использования продолжает неуклонно расти. В настоящее время в Западной Европе в военных целях используется от 1 до 3% всей территории и еще значительная часть ощущает на себе косвенное или временное воздействие со стороны вооруженных сил. В период Второй мировой войны американскому мотопехотному батальону (600 человек) требовалось для маневров 16 км<sup>2</sup>, сейчас в 20 раз больше.

Сухопутным войскам принадлежит печальная пальма первенства в разрушении земной поверхности и ландшафтов. Масштабные изменения рельефа происходят при проведении боевых учений на местности. Инженерная подготовка учебных театров военных действий требует возведения многочисленных фортификационных сооружений, протяженных траншей, окопов, ходов сообщения и противотанковых рвов. При этом перемещаются огромные массы грунтов, что создает искусственно расчененный «военизированный» антропогенный рельеф. Если учесть, что современные военные учения проводятся на очень больших территориях, то площадь с измененным рельефом может достигать десятков и тысяч квадратных километров. О территориях, на которых наблюдаются подобные изменения, можно судить хотя бы по тому, что артиллерийский полигон, существующий с 1930 г. у г. Нижний Тагил, имеет боевое поле площадью

52 × 1,5 км, т.е. 7800 га или 78 км<sup>2</sup> [Руденко, 2012]. Такие территории по окончании учений обладают пониженным качеством, даже при условии их последующей рекультивации.

**Трансформация геодинамической экологической функции литосферы.** В мирное время наиболее активная трансформация геологических процессов связана с испытанием оружия. Активизация геологических процессов (прежде всего землетрясений) наблюдается при подземных и наземных ядерных взрывах. Существует принципиальная возможность вызывать землетрясения ударным воздействием, в том числе ядерными взрывами, хотя среди исследователей нет ясного ответа о силе этого воздействия [Николаев, Жигалин, 2003; Трофимов и др., 2006; Жигалин, Николаев, 2012]. Исследования, проведенные на Семипалатинском, Новоземельском, Невадском и других полигонах, позволяют утверждать, что воздействие подземных ядерных взрывов (ПЯВ) сводится к кратковременному увеличению сейсмичности на расстоянии до 2000 км от места проведения испытаний, к увеличению частоты землетрясений в первые 5–10 дней после воздействия, затем к их уменьшению до фоновых и повторному возрастанию активности через 30–40 дней.

Рассматривая экологические последствия геологических процессов с позитивных и негативных сторон, следует привести мнение А.В. Николаева о положительных эффектах от ядерных испытаний. С его точки зрения, ПЯВ активизируют слабую и умеренную сейсмичность, способствующую сбросу части тектонического напряжения в сейсмически активных районах, о чем свидетельствуют наблюдения за сейсмической активностью в Средней Азии в период проведения ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. При этом вероятность возникновения мощных землетрясений с катастрофическими экологическими последствиями уменьшается.

В период **военных действий** изменение интенсивности и частоты геологических процессов отмечается при передвижении войск, создании фортификационных сооружений (окопы, противотанковые рвы, блиндажи и др.), действиях по уничтожению противника (бомбардировки, взрывы и т.д.).

**Передвижение войск**, осуществляющее часто вне дорог и на гусеничном транспорте, приводит к разрушению и даже уничтожению растительного и верхней части почвенного покрова, возникновению очагов дефляции и ускорению линейной и плоскостной эрозии. Особенно велик этот эффект в районах Крайнего Севера, пустынях и полупустынях с незначительным растительным покровом.

Процессы дефляции и эрозии активизируются и в горных районах, например, в ходе контртер-

Таблица 1

**Экологические последствия трансформации экологических функций абиотических сфер Земли (ЭФАСЗ) под влиянием военной деятельности**

| ЭФАСЗ     | Виды воздействия | Воздействие на абиотические сферы Земли  | Экологические последствия  |   |
|-----------|------------------|--|--|---|
| Ресурсная | Литосфера        | Строительство фортификационных сооружений; перемещение войск во время учений и боевых действий; учебные стрельбы и боевые действия с применением тяжелого артиллерийского и ракетного оружия; наземные и подземные ядерные взрывы, обустройство минных полей             | Трансформация массивов горных пород, образование воронок, земляных рвов, дамб, шахт, туннелей и др.; нарушение почвенного покрова, ресурсов и качества подземных вод   | Ликвидация, травматизм, ранение военнослужащих. Жертвы среди местного населения. Гибель зооценозов, снижение биомассы фитоценозов, частичное или полное уничтожение средообразующих экосистем. Эвакуация населения, миграция животных. Снижение качества ресурса геологического пространства для проживания населения |
|           | Гидросфера       | Изъятие ресурсов пресных вод; перемещение кораблей военно-морского флота; падение ракетно-космической техники с неотработанным топливом в воды; постановка подводных заграждений; минирование транспортных водных путей  | Изъятие прибрежных участков морской акватории и рек из хозяйственного оборота; изменение (в военное время нарушение) гражданского и рыболовного судоходства  | Гибель военнослужащих морского флота, команд рыболовных и других судов (в том числе пассажиров); нарушение путей миграции морских животных; угнетение ихтиофауны; деградация и/или исчезновение наиболее чувствительных экосистем   |
|           | Атмосфера        | Пуски боевых ракет; полеты военной авиации; воздушные испытательные и боевые ядерные взрывы  | Локальное нарушение озонового слоя; повышение уровня солнечно-го излучения в ультрафиолетовом диапазоне; попадание в атмосферу радионуклидов, продуктов горения и обломков техники (космического мусора); изменение прозрачности воздуха     | Летальные потери среди военнослужащих воздушного флота (реже ранение и травматизм); деградация и/или исчезновение наиболее чувствительных экосистем; гибель авиапассажиров; лучевое поражение населения, генные мутации; рост спектра экозависимых заболеваний  |
|           | Литосфера        | Передвижение войск и боевой техники; диверсионные подрывы массивов горных пород; строительство фортификационных сооружений; действия по уничтожению противника   | Создание «транспортного» рельефа; активизация склоновых процессов, дефляции, эрозии; повышение сейсмической активности; индуцирование землетрясений  | Уничтожение продуктивной части населения; изменение видового разнообразия; деградация и/или гибель отдельных экосистем  |
|           | Гидросфера       | Испытание ракетно-космической техники; разрушение или строительство гидротехнических сооружений; подводные взрывы  | Изменение русел рек; углубление речных водотоков; выпадение кислотных и черных дождей  | Нарушение путей миграции морских животных; изменение видового разнообразия; ожоговое поражение растительности   |
|           | Атмосфера        | Испытательные и боевые пуски ракет; использование боевой и транспортной авиации  | Локальное разрушение озонового слоя; инициирование турбулентности в тропосфере; синоптическое (погодное) воздействие; длительное выпадение дождей; рассеяние дождевых облаков  | Травматизм, гибель военнослужащих воздушного флота, мирного населения, зооценозов; деградация и/или исчезновение наиболее чувствительных экосистем  |
|           | Литосфера        | Применение и хранение горючесмазочных материалов, взрывчатых веществ, отходов различного класса опасности; падение снарядов, ступеней ракет, беспилотников и других видов вооружений при проведении учений и военных операций; захоронение человеческих жертв            | Разрушение водозаборов питьевых подземных вод; попадание канализационных стоков и токсичных веществ в подземные воды; формирование патогенных литогеохимических и бактериологических аномалий антропогенного генезиса; создание могильников  | Снижение качества ресурса геологического пространства для проживания; снижение продуктивности и качества фитоценозов, устойчивости экосистем; рост эпидемиологической опасности   |
|           | Гидросфера       | Ливневый сток с территорий военных баз и заправочных станций; захоронение контейнеров с токсичными отходами; аварийный сброс химических веществ и отходов; минирование фортов; торпедирование и затопление кораблей, барж, танкеров, дизельных и атомных подводных лодок | Разрушение очистных сооружений, загрязнение акваторий в местах разгерметизации захоронения отходов, танкеров, путепроводов, дислокации кораблей; ухудшение качества пресной воды в поверхностных водоемах; загрязнение водоносных горизонтов | Миграция токсикантов и патогенов по трофической цепи; снижение качества водоснабжения населения; рост риска заболеваний кишечно-желудочного тракта; ухудшение состояния биоты водных экосистем; человеческие жертвы; ранения и травмы у всех участников вооруженного конфликта  |
|           | Атмосфера        | Полеты военных воздушных судов; запуски спутников стратегического назначения; функционирование комплексов по ликвидации и переработке ядерных отходов, старых боеприпасов, химических складов; использование химических отравляющих веществ                              | Загрязнение воздуха в приземном слое; изменение химического состава воздушной массы; локальное разрушение озонового слоя; задымление и загрязнение токсичными и радиоактивными веществами  | Ингаляционный фактор воздействия на здоровье населения; миграция токсикантов по биогеохимической цепи; снижение показателей здоровья населения, доминирование бронхо-легочной патологии; гибель (либо отравление) военнослужащих, населения, зооценозов   |

Окончание табл. 1

| ЭФАС3         |            | Виды воздействия  | Воздействие на абиотические сферы Земли  | Экологические последствия   |
|---------------|------------|---|--|---|
| Геофизическая | Литосфера  | Подземные ядерные взрывы и аварийные выбросы радиоактивных веществ; ударное воздействие при применении обычных видов оружия большой мощности; огневое воздействие при пожарах   | Индукционная сейсмичность; повышение уровня радиационного фона; распространение пожаров на больших площадях  | Радиационное заражение биоты, миграция нуклидов по трофической цепи; ожоги у населения и у животных; снижение качества ресурса геологического пространства для проживания; рост онкопатологий у населения   |
|               | Гидросфера | Использование или испытание атомного оружия или зарядов, обогащенных ураном; эхолокация морского дна; использование средств борьбы с подводными лодками (торпеды и глубинные бомбы); подводные испытательные и боевые ядерные взрывы  | Формирование в толще воды устойчивых акустических гидр волн; ударное и тепловое воздействие на толщу воды; попадание радионуклидов в воду морей, рек и поверхностных водоемов; радиоактивное загрязнение подземных вод | Гибель либо лучевая болезнь военнослужащих морского флота; миграция нуклидов по трофической цепи; гибель биоресурсов; рост заболеваний онкопатологиями; ухудшение условий существования ихтиофауны и жизнедеятельности гидробиотических экосистем   |
|               | Атмосфера  | Аварийные выбросы в атмосферу при проведении подземных ядерных взрывов в мирных целях; взрывы ядерных зарядов в тропосфере и стратосфере; высокочастотное электромагнитное воздействие на ионосферу; радиолокация; тепловые «острова» над обширными пожарами; активные боевые действия в воздушном пространстве | Локальный «разогрев» ионосферы, формирование «плазмоидов»; локальные «окна» в озоновом слое; радиационное загрязнение; возрастание уровня фонового электромагнитного излучения; ударные и тепловые волны; радиация     | Летальный исход либо радиационные ожоги у военнослужащих и мирного населения; радиационное заражение зоо- и фитоценозов; нарушение функции кроветворения у человека в связи с высоким уровнем жесткого (ультрафиолетового и рентгеновского) солнечно-го и космического электромагнитного излучения; глухота |

пористических операций на Северном Кавказе (с 1994 до 2008 г.). В Наурском и Щелковском районах, где действия военных были ограничены преимущественно транспортным передвижением, верхняя часть почвенного покрова при движении тяжелой техники была уничтожена, что привело к усилению процессов эрозии и потере плодородия земель [Зонн, Зонн, 2002]. В Надтеречном районе (от ст. Знаменская до места слияния Терека с Сунжей) в связи с передвижением военной техники, доставкой снаряжения и продовольствия почвенный покров был уничтожен на глубину 15–30 см, возник так называемый транспортный рельеф. Эти земли можно использовать для сельскохозяйственных целей только после рекультивации и внесения удобрений.

*Создание фортификационных сооружений* обусловливает изменение рельефа, образование выемок и отвалов. Так, протяженность оборонительных рубежей, построенных с июня 1941 г. по сентябрь 1942 г. на европейской части нашей страны составила 25 тыс. км, т.е. на 1 км фронта обороны приходилось 8–10 км траншей и ходов сообщения. Создание таких искусственных сооружений на сельскохозяйственных угодьях, особенно в равнинных условиях, усиливает процессы их локального заболачивания, дефляции, что негативно отражается на плодородии земель.

*Действия по уничтожению противника*, связанные с применением авиабомб, ракет и снарядов, изменяют рельеф (табл. 1). Размеры воронок, образуемых авиационными бомбами, зависят от их мощности, а также от глубины взрыва, состава горных пород в приповерхностной зоне и геомор-

фологических характеристик участка взрывов. При массе бомбы 3000 кг глубина воронки в супесях и суглинках составляет 3 м, а ее диаметр — 25 м, в вулканическом песке — 7 и 20 м, в торфах — 15 и 5 м соответственно. На еще большей площади изменяется рельеф при сбрасывании атомных и водородных бомб. Так, площадь взрывной воронки от атомной бомбы массой 20 кг составляет 1 га, а водородной бомбы мощностью 10 Мт — 57 га [Горшков, 1982].

Военные действия приводят к активизации и возникновению таких экологически неблагоприятных геологических процессов, как увеличение мутности водотоков, заболачивание, возникновение оползней, развитие овражной эрозии и в целом к опустыниванию отдельных районов. К экологическим последствиям этих процессов относится уничтожение растительности, гибель фауны, сокращение числа микроорганизмов и в целом уменьшение биоразнообразия. Каждый килограмм взрывчатого вещества обычной бомбы вызывает разрушение экосистемы на площади 12,5 м<sup>2</sup> [Горшков, 1982]. Так, военные действия привели к полному уничтожению почвы и, следовательно, растительности и мезофауны в Подгорно-Равнинном районе Чечни — главном плацдарме прямого военного воздействия и основном сельскохозяйственном районе республики. Ранее здесь были распространены самые плодородные земли — малогумусные черноземы, лугово-черноземные глинистые и суглинистые почвы, которые были практически полностью уничтожены на площади 40–50 тыс. га, т.е. почти на всей части пахотных угодий [Зонн, Зонн, 2002].

Таблица 2

## Увеличение сейсмической активности в результате военных действий, по [Жигалин, Николаев, 2012]

| Район военных действий |                     | Магнитуда, M |              |              | Глубина очага, h, км |              |              |
|------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|
|                        |                     | M≤4          | 4<M≤5        | M>5          | ≤33                  | 33–120       | >120         |
| Афганистан, 2001 г.    | до бомбардировок    | 35           | 41           | 11           | 54                   | 16           | 17           |
|                        | после бомбардировок | 56<br>(1,60) | 68<br>(1,70) | 12<br>(1,09) | 94<br>(1,74)         | 33<br>(2,06) | 9<br>(0,53)  |
| Ирак, 2003 г.          | до бомбардировок    | 40           | 26           | 4            | 52                   | 13           | 5            |
|                        | после бомбардировок | 67<br>(1,68) | 48<br>(1,85) | 12<br>(3,00) | 94<br>(1,81)         | 23<br>(1,77) | 10<br>(2,00) |
| Южная Осетия, 2008 г.  | до бомбардировок    | 10           | 25           | 3            | 33                   | 4            | -            |
|                        | после бомбардировок | 21<br>(2,10) | 41<br>(1,64) | 3<br>(1,0)   | 62<br>(1,88)         | 3<br>(0,75)  | -            |
| Ливия, 2011 г.         | до бомбардировок    | 2            | 46           | 6            | 44                   | 6            | 4            |
|                        | после бомбардировок | 1<br>(0,5)   | 67<br>(1,46) | 10<br>(1,67) | 73<br>(1,66)         | 3<br>(0,5)   | 2<br>(0,5)   |

Примечание. В скобках — относительное увеличение числа сейсмических событий после бомбардировок.

Бомбардировки и взрывы оказываются своего рода спусковым механизмом активизации склоновых процессов. Обстрелы склонов из артиллерийских систем и подрывы в зонах зарождения лавин применяют достаточно давно, начиная с 30-х гг. XX в.. Этот способ использовался для спуска лавин как в мирное время для уменьшения опасности в Альпах в Швейцарии и в Хибинах на Кольском полуострове, так и во время сражений в Великой Отечественной войне на Кавказе при защите Эльбруса. В. Читадзе, участвовавший в составе особого горнострелкового отряда в защите Эльбруса, установил, что для успешного схода лавины необходимо использовать 100-миллиметровые зенитные орудия со специальными взрывателями, при которых взрыв происходит не от удара о грунт (снег), а в установленный момент [Залиханов, Лосев, 1994].

Другой пример активизации склоновых процессов во время военных действий — профилактическая бомбардировка горных склонов в Афганистане, которую производили с целью схода осипей и обвалов до начала движения войск и военной техники при выводе советских войск.

Ракетно-ядерные удары способны вызвать ответную реакцию литосферы в виде индуцированных землетрясений. Примером этому могут служить несколько эпизодов из новейшей мировой истории, а именно бомбардировки в Югославии в 1999 г., в Афганистане и Ираке, а также в Южной Осетии и Ливии в 2001, 2002, 2003, 2008 и 2011 гг. соответственно. Сопоставление времени бомбардировок с сейсмической активностью дает возможность выявить ее вторичное усиление после ракетно-артиллерийских обстрелов. По данным А.Д. Жигалина и А.В. Николаева [2012], число

постбомбардировочных землетрясений по сравнению с природными землетрясениями за тот же период времени, предваряющий военные действия, возрастает примерно в 1,4–1,7 раза (табл. 2). В сейсмоактивных регионах такая техногенная добавка может играть существенную роль с точки зрения оценки экологических последствий от землетрясений.

**Трансформация геохимической экологической функции литосферы.** Существенные изменения эколого-геохимических условий в *мирное время* происходят при *испытании ракетно-космической техники*. В первую очередь речь идет о токсичных компонентах ракетного топлива. Расчетное количество компонентов ракетного топлива в отработавших первых ступенях ракет варьирует от нескольких сотен килограммов (ракета-носитель «Рокот») до 1,5–2 т (ракета-носитель «Протон»). При этом 30% этой массы остатков осаждается в районе пуска на поверхность земли, причем большая часть нейтрализуется в результате взрыва при ударе отделяющейся части о поверхность земли (табл. 1). Наибольшую экологическую опасность представляет ракетное топливо НДМГ<sup>9</sup>, которым заправляют тяжелую российскую ракету-носитель типа «Протон», боевые межконтинентальные ракеты типа 15А18, 15А35, стоящие на боевом дежурстве, а также конверсионные ракеты-носители «Рокот», «Стрела», «Днепр» [Воздействие..., 2016; Трофимов и др., 2006]. Проведенные на космодроме Плесецк исследования биологической активности почв и растительного материала показали, что характер воздействия НДМГ на горох и ячмень определяется его количеством, поступившим в почву. Ингибирующая (подавляющая жизненные процессы) доза НДМГ составляет 20 г/дм<sup>3</sup>, хотя

<sup>9</sup> НДМГ (несимметричный диметилгидразин) — жидкое горючее из класса органических аминов.

в умеренных дозах НДМГ служит стимулятором процессов жизнедеятельности растений и сопутствующей биоты.

Техногенные геохимические аномалии отмечены и при падении на поверхность земли фрагментов космической техники. Один из таких случаев связан с падением советского спутника морской космической системы разведки «Космос-954» с радиоактивными материалами на борту. После успешной работы спутника в течение 4 месяцев топливо практически закончилось, поэтому было решено отправить реактор на более высокую орбиту для захоронения со временем существования 300–1000 лет. Радиоактивное топливо в реакторе имело период полураспада 70 лет. Операция не удалась и космический аппарат вместе с реактором, содержащим 30 кг обогащенного урана, 24 января 1978 г. вошел в плотные слои атмосферы. Радиоактивные обломки оказались разбросаны на огромной, но малонаселенной территории Канады в районе Великих озер. Очистка территории от радиоактивного загрязнения обошлась Канаде в 14 млн долл. [Воздействие..., 2016].

Сейчас основные военные конфликты идут с целью перераспределения на мировом рынке доступа к ресурсам углеводородов, и как следствие повсеместно на аренах современных *боевых действий* наблюдается интенсивное *нефтяное загрязнение* приповерхностной части литосферы в большинстве горячих точек планеты (Кувейт, Ирак, Сирия и др.). Согласно данным работы [Зонн, Зонн, 2002], при проведении контртеррористической операции на Северном Кавказе в результате повреждения промысловых и магистральных трубопроводов и нефтехранилищ в грунтах скопилось более 2 млн т нефтепродуктов. В пределах территории площадью около 30 км<sup>2</sup> образовался подземный нефтенасыщенный горизонт со слоем нефтепродуктов мощностью до 12 м. В некоторых местах этот нефтяной горизонт в долине Сунжи разгружался на поверхность, сдвигаясь в направлении р. Терек.

**Трансформация геофизической экологической функции литосферы.** В мирное время наиболее значительные техногенные трансформации радиационного поля создаются при подземных ядерных взрывах и нештатных выбросах радиоактивных веществ. Аномалии при этом могут достигать 20–200 мЗв/год. Данные о ядерных испытаниях на Новоземельском полигоне приведены в табл. 3.

Подземные ядерные взрывы характеризуются заметным последействием. Длительные (до 10–15 лет) наблюдения показали, что, несмотря на «остеклованные» стенки полостей вследствие воздействия на горные породы высоких температуры и давления во время ядерного взрыва, происходят утечки радиоактивных веществ. При

Таблица 3  
Сведения о ядерных испытаниях, проводившихся на Новоземельском полигоне в различных абиотических сферах, по [Новая Земля..., 1998]

| Вид испытания (взрыва) | Число испытаний | Общий тротиловый эквивалент (ТЭ), Мт | Количество цезия-137, выброшенного в атмосферу, мКи |
|------------------------|-----------------|--------------------------------------|---|
| Воздушный              | 85              | 240                                  | 8,0   |
| Наземный               | 1               | 0,035                                | 0,004   |
| Надводный              | 2               | 0,2                                  | 0,01  |
| Подводный              | 3               | 0,2                                  | –   |
| Подземный              | 39              | 23                                   | 0,005   |
| Итого                  | 130             | 263,435                              | 8,019   |

осуществлении взрывов наблюдаются внезапные подвижки грунтового массива, аномальное поведение подземных вод и газов. В случае возникновения нештатных ситуаций, как принято сейчас говорить, при проведении подземных ядерных взрывов возможен выход на поверхность радиоактивных инертных газов. Мощность дозы радиации в пределах технологических площадок, как это, например, было на Новоземельском полигоне, может достигать 500 Р/ч (5 Зв/ч). Область распространения подобного рода выходов может простираться на расстояние до 500 км и более. Эффективная доза облучения зависит от перемещения человека по загрязненной территории, от времени пребывания на ней, от вида радионуклидов, их объемной концентрации, плотности загрязнения, уровня загрязнения, от потребления воды и пищи, от орографии местности. Согласно заключению Международной комиссии по радиологической защите вероятность смертельных случаев от онкозаболеваний при мощности дозы облучения 1 Зв составляет  $5 \cdot 10^{-5}$ , что принято за максимальный допустимый риск летального исхода (считающийся в национальных нормативах США как малозначительный).

Локальные *температурные аномалии* (до 5–20 °C) связаны с эксплуатацией помещений, отведенных под военное производство, с функционированием техники, механизмов, со сбросами сточных вод. Так, при запусках ракет, экзогенных пожарах могут возникать локальные тепловые аномалии до 300–600 °C с катастрофическими последствиями для всего живого. Достаточно сказать, что энергетическое воздействие крупного космодрома (Восточный испытательный полигон США, космодром Байконур) на абиотические сферы Земли эквивалентно воздействию среднего промышленного предприятия [Воздействие..., 2016].

В ходе *боевых действий* в современных «малых» войнах широко используется зажигательное

оружие, предназначенное для создания крупных пожаров с целью уничтожения живой силы и техники, материальных ценностей, а также для затруднения действия войск противника. Так, на Ближнем Востоке в 1967 г. Израиль, применив такое оружие, вывел из строя примерно 75% арабских войск. Во время боевых действий во Вьетнаме около 40% использованных боеприпасов представляло собой зажигательное оружие — в основном кассеты по 800 бомб, которые создавали пожары на площади более 1000 га. Отметим, что изменение температурного режима происходит за непродолжительное время существования очагов возгорания и открытого огня.

Опыт радиационного воздействия в военных целях не слишком богат и ограничивается боевым применением США атомных бомб, взорванных над территорией Японии в 1945 г. В результате анализа результатов этого «эксперимента» выявлен значительный отрицательный экологический эффект от использования такого рода оружия. Достаточно сказать, что в Хиросиме число погибших от непосредственного воздействия взрыва составило от 70 до 80 тыс. человек. К концу 1945 г. в связи с действием радиоактивного заражения и других отложенных эффектов от взрыва общее число погибших составило от 90 до 166 тыс. человек. По истечении 5 лет общее число погибших, с учетом умерших от онкологических заболеваний и других долгосрочных воздействий взрыва, достигло или даже превысило 200 тыс. человек.

**Трансформация экологических функций гидросферы под влиянием военной деятельности.** Военная деятельность влияет на все экологические функции гидросферы, но наиболее контрастно на изменение химических особенностей поверхностной гидросферы, т.е. на изменение ресурсной и геохимической функций как в мирное, так и в военное время.

**Трансформация ресурсной экологической функции гидросферы.** Трансформация качества ресурсов поверхностной гидросферы происходит в *мирное и военное время* при падении космической техники, включая военную, в воды Мирового океана. Под действием остатков топлива в упавших космических аппаратах изменяется качество вод поверхностной гидросферы. Например, в апреле 1970 г. при возвращении лунного модуля «Aquarius» экспедиции «Apollo-13» контейнеры с плутонием упали в Тихий океан восточнее Новой Зеландии [Вениаминов, Червонов, 2012].

В случае разлива нерадиоактивного топлива на поверхности воды образуется углеводородная пленка, нарушающая процесс естественной аэрации воды, что влечет за собой кислородное голодание гидробионтов. При концентрации в водоеме горючих углеводородов более 0,01 мг/л гибнет

планктон, а более 50 мг/л — рыба, т.е. нарушается, таким образом, трофическая цепочка (табл. 1).

**Трансформация геодинамической экологической функции гидросферы.** Испытания ракетно-космической техники, проводимые в *мирное время*, недрко вызывают образование продуктов сгорания не только в газовой, но и в жидкой фазах. Размер капель, образовавшихся на аэрозольных центрах конденсации, возрастает до такой степени, что они начинают выпадать в виде кислотных дождей (табл. 1). *Кислотные дожди* особенно опасны на начальных этапах развития растений. Попадание кислотных дождей в закрытые пресные водоемы, когда их ложе не сложено карбонатными породами, вызывает массовую гибель фауны даже при весьма малом повышении кислотности воды ( $\text{pH}$  6,5–6,0).

**Боевые действия** способны активизировать *черные дожди*. Достаточно сказать, что перед отступлением из Кувейта в 1991 г. иракские войска подожгли около 700 нефтяных скважин. Концентрация смога в воздухе в 30 раз превышала допустимые нормы. В горящих факелах сгорало около 3 млн баррелей нефти в день, т.е. приблизительно 5% от ежедневного мирового потребления. Черные тучи поднимались на высоту до 3 км и разносились далеко за пределы Кувейта. Черные дожди, содержащие ядовитую смесь двуоксида серы, оксида азота, азотной кислоты и углеводородов, проливались не только над Кувейтом и Ираком, но и над Саудовской Аравией и Ираном еще в течение года. Даже в Кашмире, расположенном за 2000 км от Кувейта, выпадал черный снег.

**Трансформация геохимической экологической функции гидросферы.** Существенные трансформации эколого-гидрохимической обстановки в *мирное время* происходят при попадании компонентов ракетного топлива (гидразиновое горючее, содержащее азотокислители, углеводородное горючее) в акватории. Действие нитратов и нитритов на гидробионты состоит в нарушении их кровоснабжения, т.е. транспортировки кислорода к жизненно важным органам. Другой вид негативного влияния нитратов и нитритов на гидробионты заключается в том, что повышение их концентрации в воде водоемов стимулирует рост растительности и планктона и приводит к эвтрофикации, загрязнению воды водоемов азотной кислотой. Смертельная концентрация азотной кислоты для радужной форели через 96 ч составляет 0,39–1,9 мл/л, для молоди форели через 8 сут. — 0,14–0,15 мг/л [Яржомбек, Михеева, 2007].

Углеводородные виды горючего снижают качество биоресурсов (табл. 1). Наличие в водоеме нефти в количестве 0,1 мг/л придает рыбе неустранимый при обработке вкус и запах [Маркизов и др., 2003].

**Боевые действия** в нефтедобывающих районах приводят к массовому загрязнению акваторий нефтепродуктами. Так, во время войны 1991 г. в Персидском заливе объем утечек из кувейтских терминалов по оценкам Г. Бридж [Бридж, 2015], составил 4–11 млн баррелей нефти. Это нанесло серьезный ущерб эколого-геологической обстановке в районе Персидского залива, привело к гибели морских животных и около 30 тыс. птиц.

**Трансформация геофизической экологической функции гидросферы.** К ряду воздействующих геофизических факторов в приложении к гидросфере следует относить гидроакустическое воздействие при эхолокации морского дна и водной толщи, использование средств борьбы с подводными лодками и надводными судами (торпеды и глубинные бомбы), а также подводные и воздушные испытательные и боевые ядерные взрывы. В результате подобного рода воздействий в толще воды могут формироваться устойчивые акустические гидравлические волны, в том числе ударные, может наблюдаться локальный разогрев воды и происходить попадание радионуклидов в воду морей, рек и поверхностных водоемов. Существует также реальная опасность радиоактивного загрязнения водоносных горизонтов под водоемами на суше. При длительном (или кратковременным, но интенсивным) воздействии может сформироваться устойчивое загрязнение, в том числе радиационное, загрязнение морской воды и воды поверхностных водоемов. В результате наблюдается общее ухудшение условий существования ихтиофауны и жизнедеятельности экосистем.

**Трансформация экологических функций атмосферы под влиянием военной деятельности.** **Трансформация ресурсной экологической функции атмосферы.** В ходе военной деятельности изменения затрагивают прежде всего газовые ресурсы планеты. Напомним, что каждый взрослый житель планеты за сутки поглощает около 500 л кислорода и выдыхает около 450 л углекислоты. При отсутствии кислорода невозможно дыхание, а значит, протекание энергетических процессов у многоклеточных животных.

Из газов, входящих в воздушную смесь, особого внимания заслуживает озон ( $O_3$ ). Озон образуется в верхних слоях атмосферы из атомарного кислорода в результате химической реакции под влиянием солнечной радиации, вызывающей диссоциацию молекул кислорода и рекомбинацию их в виде трехатомной структуры  $O_3$ . Слой озона служит экраном (щитом), защищающим поверхность Земли и все живое на ней, от губительного воздействия солнечной радиации в ультрафиолетовом частотном диапазоне электромагнитного излучения. Уменьшение общего содержания озона по природным или ан-

тропогенным причинам на 1% может привести к увеличению количества заболеваний раком кожи у человека приблизительно на 2% [Александров, Седунов, 1979].

В **мирное время** ответственными за уменьшение содержания озона объявлены оксид и двуоксид азота ( $NO$  и  $N_2O$ ), которые образуются в двигателях внутреннего сгорания и сопутствуют запуску ракет. Ракеты выбрасывают большое количество газов, часть из которых ведет к разрушению озона (оксид азота, соединения хлора).

При взлете ракет образуются своеобразные тунNELи с практически полным разрушением озона. Расчетами установлено, что при запуске системы «Спейс Шаттл» при учете всех разрушающих озон компонентов продуктов сгорания ( $H$ ,  $OH$ ,  $Cl$ ,  $NO$ ) разрушается больше озона, чем при запуске «Протона», за счет большего объема возмущенной области, связанной с факелом и головной ударной волной. Если учитывать только долгоживущий компонент  $NO$  в продуктах сгорания, размер туннеля от ракеты-носителя «Протон» оказывается существенно больше [Воздействие..., 2016].

Существенный урон качеству ресурсов атмосферного пространства наносит космический мусор, значительная часть которого связана с разведывательными аппаратами. Под **космическим мусором** подразумеваются все искусственные объекты и их фрагменты в космосе, которые уже неисправны, не функционируют и никогда более не смогут служить никаким полезным целям, но представляют собой опасный фактор воздействия на функционирующие космические аппараты, особенно пилотируемые. Достаточно сказать, что суммарная масса крупного космического мусора с массой 300 г–20 т уже в 2010 г. превышала 10 000 т [Вениаминов, Червонов, 2012]. Основная угроза, исходящая от космического мусора, – столкновение с работающими космическими аппаратами с последующим выпадением радиоактивного топлива на Землю. Хотя известны и другие последствия, снижающие комфортность проживания населения. Например, 26 марта 2006 г. в 17 субъектах РФ с 15 млн жителей прекратилась трансляция общероссийских и коммерческих телепрограмм, частично нарушились междугородная телефонная, мобильная связь, доступ в интернет из-за столкновения российского телекоммуникационного космического аппарата «Экспресс АМ11» с космическим мусором.

Ведение **боевых действий** нарушает качество ресурсов воздушного пространства на локальных участках. В частности, в 1991 г. известен случай изменения прозрачности воздуха из-за густого дыма от горящих скважин, подожженных во время войны в Кувейте. В результате снижения видимости разбился транспортный самолет Са-

удовской Аравии, перевозивший сенегальских солдат антииракской коалиции, погибло более 90 человек.

**Трансформация геодинамической экологической функции атмосферы.** Основные воздействующие факторы, приводящие к изменению геодинамической экологической функции атмосферы, — испытательные и боевые пуски ракет, использование боевой и военной транспортной авиации, синоптическое (погодное) воздействие на нижние слои атмосферы (табл. 1). Указанные виды воздействия способствуют возникновению турбулентности в тропосфере и стратосфере и частично разрушают озоновый слой. В зависимости от целевой установки воздействие на атмосферу может инициировать длительное выпадение осадков или, наоборот, препятствовать образованию дождевых облаков в течение продолжительного времени.

Частичное разрушение озона в озоновом слое создает предпосылки для повышения уровня солнечного излучения в ультрафиолетовом диапазоне. Активное синоптическое воздействие на атмосферу с целью вызова дождей или, наоборот, рассеяния дождевой облачности способствует ухудшению экологической обстановки и условий жизнедеятельности.

**Трансформация геохимической экологической функции атмосферы.** Основной фактор, воздействующий на эколого-атмогеохимическую обстановку в мирное время, — выбросы загрязняющих веществ ракетно-космической техникой и самолетами. Химическое загрязнение атмосферы происходит как при старте ракет за счет образования газовых выбросов (стартовый клуб и след), так и при выбросах остатков топлива при разрушении вторых ступеней ракетоносителей на высоте 80–100 км. Считается, что остатки топлива при падении испаряются, переходя в газовую фазу, разбавляются до безопасной концентрации и не представляют опасности для населения. Это предположение никогда не проверялось ни расчетным, ни экспериментальным путем [Воздействие..., 2016].

В военное время атмогеохимические аномалии связаны с применением различных боевых отравляющих веществ [Изменение..., 2006]. Боевые отравляющие вещества различаются по характеру воздействия на человека. Так, иприт, люизит и азотистые иприты относятся к отравляющим веществам кожно-нарывного действия; для защиты от них необходимо использовать не только противогазы, но и защитную одежду. Нервно-паралитические газы (зарин, зоман и ви-газ, или ви-икс-газ (V-газ, VX-газ в американской терминологии) поражают важнейший фермент организма — холинэстеразу и разрушают систему передачи импульсов по нервным волокнам [Юфит, 2002].

**Трансформация геофизической экологической функции атмосферы.** Наибольшую экологическую опасность несут ядерные взрывы в атмосфере, создающие радиационные аномалии. Последствия боевых ядерных взрывов в японских городах Хиросима и Нагасаки хорошо известны и ощущаются до сих пор. Последствия других взрывов в атмосфере не столь хорошо известны, но тоже достаточно пессимистичны с экологических позиций. После взрыва ядерного боеприпаса остается нерассеянной 10–15% всей радиации, в результате чего возникают условия стресса (ближкого к катастрофическому пределу) для экосистем, подвергшихся воздействию взрыва.

Действие ионизирующих излучений в определенных пределах (дозах) приводит к последствиям, проявляющимся у человека, непосредственно попавшего под облучение (соматическое воздействие), или у его потомства (генетическое воздействие). Последствия общего кратковременного облучения тела человека в зависимости от дозы стандартного облучения могут меняться от незначительных в диапазоне 0,05–0,5 Гр до летальных в диапазоне 1,5–3 Гр. Для разных видов живых организмов граничной (безопасной) является доза стандартного излучения составляет 0,5 Гр.

Воздействие радиоактивного излучения на организм человека зависит от вида источника, активности, времени эффективного периода и др. Глубина и тяжесть биологического воздействия проявляются в разной степени ионизации атомов и молекул организма, изменении его химического состава, структуры и характера связей. В результате ионизации поражаются хромосомы и ядра клеток, что может привести к гибели некоторых из них. Кроме того, в организме образуются новые комплексы, группы  $H^+$  и  $OH^-$  и молекулы, не свойственные биологической среде и тканям организма. Большие дозы облучения (0,5–1,5 Гр) нарушают функции кроветворных органов, ухудшают свертываемость крови и снижают сопротив-

Таблица 4

Характеристики пожаров при взрывах ракет-носителей, по [Воздействие..., 2016]

| Тип ракеты               | Вид топлива   | Масса топлива, т | Энергия взрыва, ТДж | Радиус площади пожара, м |
|--------------------------|---|------------------|---------------------|--------------------------|
| «Ангара» легкого класса  | кислород—керосин                                    | 1230             | 1,5                 | 300                      |
| «Ангара» среднего класса | кислород—керосин                                    | 420              | 4,8                 | 500                      |
| «Протон К»               | азотный тетраоксид — несимметричный диметилгидразин | 670              | 4,5                 | 500                      |

ляемость организма по отношению к различным заболеваниям.

Испытание ракетно-космической техники в *мирное время* приводит к *радиоактивному и электромагнитному загрязнению*. Достаточно сказать, что самая крупная катастрофа в истории освоения космоса — взрыв через 22 с после запуска китайской ракеты-носителя «CZ-3B» с космическим аппаратом связи «Интелсат-708» с космодрома Сичан, который произошел 14.02.1996 г. В результате погибли 6 человек и более 100 человек получили ранения или подверглись воздействию токсичных продуктов [Головков, 1966].

Источники электромагнитного загрязнения представлены радиотехническими системами, работающими в УВЧ- и СВЧ-диапазонах и обладающими высокой мощностью (до 1000 кВт в импульсе) [Воздействие..., 2016]. Экологические последствия мощных микроволновых излучений негативно влияют на фотосинтез в листьях растений, прорастаемость семян, частоту хромосомных aberrаций (мутаций). У человека периодическое воздействие электромагнитного поля приводит к изменениям гормонального статуса и генетической структуры.

Существенные *температурные аномалии* отмечаются при аварийных и нештатных ситуациях с ракетно-космической техникой. Воздействие теплового излучения при взрывах ракет на эколого-геологическую обстановку плохо изучено. Расчетным путем получены размеры площади пожара при взрыве ракет-носителей различных типов (табл. 4). Отмечены случаи пожаров, приведших к гибели людей. Так, взрыв на стартовом комплексе

МБР Р-16 и последовавший за этим пожар на космодроме Байконур (24.10.1960 г.) привел к гибели 78 человек [Черток, 1999].

При испытании ракетных двигателей и запусках ракет создаются мощные волновые возмущения в широком частотном диапазоне, вызывающие *акустические аномалии*. Уровень звука от работы взлетающей тяжелой ракеты может достигать 150–180 дБ, что в 2–3 раза превышает допустимые для человека уровни. Такие уровни шума представляют очень большую опасность для человека [Воздействие.., 2016].

**Выводы.** 1. Трансформация экологических функций всех абиотических сфер под влиянием военной деятельности происходит и в мирное, и в военное время. Испытания оружия, ракетной космической техники, а особенно войны становятся серьезными фактором дестабилизации взаимодействия живой и неживой природы на нашей планете.

2. При военной деятельности трансформация экологических функций литосфера по интенсивности и сохранению во времени превосходит трансформацию экологических функций гидросферы и атмосферы. В последних сферах последствия трансформации ликвидируются за меньшее время.

3. Высокий научный потенциал современных военных технологий России при их соответствующей ориентации и международном сотрудничестве может внести значительный вклад в снижение воздействия на экологические функции абиотических сфер Земли и реабилитацию окружающей среды от регионального до глобального уровня.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александров Э.Л., Седунов Ю.С. Человек и стратосферный озон. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 104 с.

Бридж Г. Нефть. М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2015. 335 с.

Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор — угроза человечеству. М.: ИКИ РАН, 2012. 190 с.

Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду / Под ред. В.В. Адушкина, С.И. Козлова, М.В. Сильникова. М.: ГЕОС, 2016. 795 с.

Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза / В.Т. Трофимов, Н.Д. Хачинская, Л.А. Цуканова и др. М.: Академическая наука — Геомаркетинг, 2014. 566 с.

Головков С. Катастрофа при запуске КА «Intelsat 708» // Новости космонавтики. 1996. Т.6, № 4. С. 11.

Горшков С.П. Экзогеодинамические процессы освоенных территорий. М.: Недра, 1982. 286 с.

Жигалин А.Д., Николаев А.В. Чрезвычайные ситуации как отдаленные последствия локальных военных конфликтов // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «ГЕОРИСК-2012». Т. 2. М.: РУДН, 2012. С. 241–245.

Залиханов М.Ч., Лосев К.С. И снег, и град, и горы. Л.: Гидрометеоиздат, 1994. 160 с.

Зонн С.В., Зонн И.С. Экологические последствия военных операций в Чечне // Энергия: экономика, техника, экология. 2002. № 6. С. 50–53.

Куриленко В.В. Экологически значимые свойства (экологические функции) литосферы и их роль при характеристике эколого-геологических условий жизнедеятельности человека и существования биоты (природной среды) // Мат-лы междунар. науч. конф. «Науки о Земле и образование: задачи, проблемы, перспективы» / Под ред. В.В. Куриленко. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. С. 65–68.

Маркизов Н.Ф., Гребенюк А.Н., Башарин В.А. Токсикология нефтепродуктов. СПб.: Невский диалект, 2003. 128 с.

Николаев А.В., Жигалин А.Д. Геоэкологические аспекты военной деятельности // Геоэкология. 2003. № 1. С. 23–31.

Новая Земля. Природа. История. Археология. Культура // Тр. Морской арктической комплексной экспедиции (МАКЭ). Кн. 2. Ч. 1. Культурное наследие. Радиоэкология. М.: Российский НИИ культурного и природного наследия, 1998. 278 с.

Руденко В.Л. Мировая слава секретного полигона // Оборонно-промышленный комплекс Свердловской

области: информационно-аналитический каталог. Екатеринбург, 2002. С. 28–30.

*Трофимов В.Т.* Об экологических функциях абиотических сфер Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2005. № 2. С. 59–65.

*Трофимов В.Т., Жигалин А.Д., Барабошкина Т.А., Харькина М.А.* Изменение экологических функций литосферы при военных действиях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2006. № 5. С. 68–75.

*Трофимов В.Т., Куриленко В.В.* Экологические функции абиотических сфер Земли: содержание и значение для становления нового теоретического базиса гео-

экологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 3. С. 93–102.

*Трофимов В.Т., Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д. и др.* Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. М.: Ноосфера, 2006. 720 с.

*Черток Б.Е.* Ракеты и люди. Кн. 2. М.: Машиностроение, 1999. 448 с.

*Юфит С.С.* Яды вокруг нас. М.: Классика-стиль, 2002. 368 с.

*Яржомбек А.А., Михеева И.В.* Ихтиотоксикология. М.: Колос, 2007. 144 с.

Поступила в редакцию 16.04.2018

Поступила с доработки 22.05.2018

Принята к публикации 22.05.2018