

УДК 504.61:355.6

## ВОЗДЕЙСТВИЕ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

А. С. Шишкин<sup>1</sup>, Т. В. Пономарева<sup>1</sup>, Д. Ю. Ефимов<sup>2</sup>, А. А. Люто<sup>1</sup>, И. И. Брюханов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН  
152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 109

<sup>3</sup> Ирбейское лесничество Министерства лесного хозяйства Красноярского края  
663650, Красноярский край, Ирбейский р-н, с. Ирбейское, ул. Лесная, 8

E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru, bashkova\_t@mail.ru, dnsfmv@gmail.com, luto\_a\_a@rambler.ru,  
igor\_i\_b@mail.ru

Поступила в редакцию 08.06.2020 г.

В статье рассматриваются вопросы воздействия на природную среду утилизации боеприпасов на военных полигонах. Приводятся результаты комплексных исследований (почвы, растительности, мелких млекопитающих), проводившихся на двух полигонах: в Красноярской лесостепи (№ 1), где в 2013 г. закончена утилизация снарядов, и в Канской подтайге (№ 2), где с 1980 г. утилизация боеприпасов продолжается. Научная новизна работы заключается в междисциплинарном рассмотрении вопроса с привлечением инструментальных методов исследования и спутниковых данных. Установлено, что под воздействием взрывов формируется беллигеративный ландшафт, образуются воронки, которые заполняются водой. В результате выноса грунта (почвы и нижележащих почвообразующих пород) при взрывах изменяются структурная организация и физические свойства почв на расстоянии до 15 м от края воронки. Отмечено, что формирование сообществ происходит в течение длительного времени и начинается с пионерной стадии вследствие осыпания стенок воронок. Прямое воздействие взрывов на животное население проявляется во внутреннем кровоизлиянии и нарушении почечной ткани у мелких млекопитающих, а косвенное – в изменении биотопа: разрыхлении почвы и образовании водоемов на дне воронок, что способствует образованию локальных поселений полевки-экономки *Microtus oeconomus* Pallas. По результатам исследований определены параметры и пространственная приуроченность местообитаний, нарушенных подрывом боеприпасов, что необходимо для организации и ведения мониторинга этого техногенного воздействия. Данная проблема мало изучена и требует дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** военные полигоны, почва, растительность, мелкие млекопитающие.

DOI: 10.15372/SJFS20210202

### ВВЕДЕНИЕ

Антропогенные факторы воздействия можно условно разделить на несколько категорий как по виду действия, характеру, длительности и силе, так и по их последствиям.

Мировой опыт свидетельствует, что использование земель в качестве военных полигонов приводит к неоднозначным последствиям. Из-

вестно, что нарушения поверхности почв в зоне военных учений обуславливает значительные изменения в гидрологии и морфологии почв, особенно в аридных районах (Caldwell et al., 2006), накоплению загрязняющих веществ и тяжелых металлов (Radziemska et al., 2019). С другой стороны, есть примеры того, что эти земли являются «резерватами» для сохранения редких видов растений и животных, так как значитель-

но удалены от населенных пунктов и изъяты из публичного пользования (Anderson, Ostler, 2002; Cablk, 2014; Zentelis, Lindenmayer, 2014).

Считается, что воздействие взрывов при утилизации списанных боеприпасов не наносит критического урона окружающей среде за пределами военных полигонов. Влияние множественных факторов деятельности военнослужащих на экологические условия недостаточно описано в современной литературе. При утилизации боеприпасов методом подрыва на окружающую среду действуют ударная волна, разлетающиеся осколки и части боеприпасов, химические и температурные факторы.

Воздействие взрывов на почвы и грунты описано в ряде работ (Ляхов, Покровский, 1962; Поляк, 1974; Арутюнов и др., 1983, 1985, 1986; Фищенко, 1985; Бондарь и др., 1990; Соболев, 2008; Зеленкин и др., 2011; Марков, Овчинников, 2011). При расширении сильно сжатых и нагретых продуктов взрыва они устремляются в сторону наименьшего сопротивления среды – к поверхности преграды. В результате часть среды (грунта) выбрасывается на поверхность и образуется конусообразная воронка, размеры которой характеризуются глубиной и радиусом. Если радиус воронки равен глубине, то такая воронка называется нормальной, если радиус больше глубины, воронку называют мелкой и наоборот – глубокой. Анализ разброса грунта показал, что центральная часть взрыва подвергается большему воздействию и выбросу на дальнейшее расстояние материнской породы (Поляк, 1974; Арутюнов и др., 1983, 1985, 1986). В нескальных грунтах и мягких породах воронка выноса близка по форме к параболоиду или усеченному конусу (Горная энциклопедия, 1984, 1986, 1987, 1989, 1991). Дернина удерживает верхний почвенный слой от разрушения и разбрасывания.

Вокруг точки разрыва снаряда в грунте (почве и почвообразующих породах) различают три зоны: сжатия, разрушения и сотрясения. При сжатии грунт сдвигается и уплотняется, при разрушении (имеющем радиус распространения сильной ударной волны) нарушаются связи между частицами грунта, его структура, образуются трещины. Слабая ударная волна вызывает только колебательное движение частиц грунта, без их разрушения.

Действие взрывов на почвы несколько снижается при подрыве боеприпасов в уже образовавшихся воронках, что приводит к их увеличению и выбросу преимущественно материнской породы. Для того чтобы охарактеризовать дей-

ствие взрыва на окружающие объекты, рассматривают поле взрыва, т. е. пространство, в котором проявляется его разрушительное действие за счет расширяющихся продуктов детонации и возникающей в среде ударной волны (Каляженков, Мальгин, 2014).

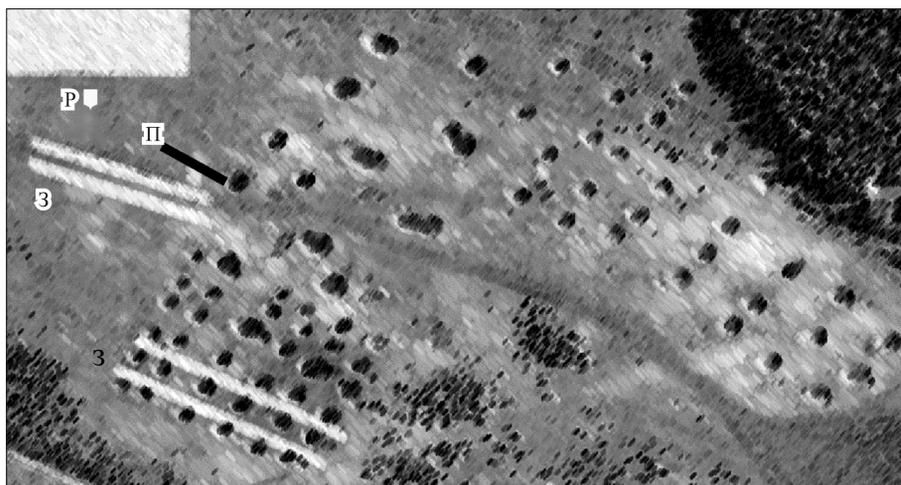
Осколочные боеприпасы образуют фрагменты при взрыве, которые разлетаются в стороны в виде мелких снарядов (первичные осколки), внедряясь в предметы окружающей обстановки и нанося им повреждения. Чем больше масса осколков, обладающих кинетической энергией за счет действия продуктов взрыва, тем сильнее их поражающее действие и больше дистанция, на которую они летят. Осколки стальной оболочки сохраняют поражающую силу на дистанции до 150–250 м от центра взрыва. При утилизации боеприпасов военно-морской базы осколки и пораженные стволы деревьев наблюдались на удалении более 400–500 м от места подрыва (Криминалистика..., 2018).

Компрессионные повреждения при взрыве, несмотря на их широкое распространение, мало и не систематически описаны в современной доступной литературе. Главный акцент делается на минно-взрывных травмах при непосредственных подрывах людей в помещениях или технике. Нам не удалось найти в литературе гистологические характеристики органов при контузиях малой и средней тяжести и данные об их влиянии на внутренние органы. Полностью отсутствуют данные о воздействии контузионных повреждений на организм животных, хотя существует довольно обширный раздел такой науки, как военная ветеринария. Исследования контузионных повреждений мелких млекопитающих в зонах утилизации боеприпасов могут быть актуальным дополнением к научным данным как полевой медицины, так и военной ветеринарии.

Цель работы – выполнить комплексную оценку воздействия утилизации боеприпасов на почву, растительность и население мелких млекопитающих лесных экосистем.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования территориально относятся к юго-западному краю Среднесибирского плоскогорья, расположены в двух природно-зональных типах ландшафтов: в Красноярской лесостепи (№ 1) и в подтаежной зоне юго-восточного макросклона Енисейского кряжа (№ 2) (Средняя Сибирь, 1964).



**Рис. 1.** Закрытый в 2013 г. полигон по утилизации артиллерийских боеприпасов (№ 1). Линиями белого цвета (3) показано расположение плашек по отлову мелких млекопитающих на воронках и на фоновой залежи; линией черного цвета (П) – расположение линии закладки почвенных прикопок; белой стрелкой обозначено местоположение почвенного разреза (Р) на залежи. Космический снимок М 1 : 5000.

По природно-климатическим условиям полигон № 1 находится в области континентального климата с продолжительной холодной зимой и относительно жарким коротким летом. Продолжительность безморозного периода составляет 120 сут. Количество осадков составляет 429 мм в год, в виде дождя – до 393 мм в год. Отметки высот – 250–290 м. Рельеф неоднородный с преобладанием холмисто-увалистых и грядобразных форм. Серые и темно-серые почвы сформированы на светло-бурых иловато-пылеватых суглинках.

По географическому положению объект № 2 расположен на стыке подтаежных сосновых лесов и Канской лесостепи. Рельеф холмисто-увалистый, расчлененный, с пологими склонами. Климат континентальный циклонический (Растительность..., 1971). Для юго-восточной части края характерны дерновые маломощные почвы, сформированные на красно-бурых и коричнево-бурых суглинистых породах, характеризующиеся нейтральной реакцией среды, высоким содержанием гумуса, отсутствием оподзоливания, крупнозернистой структурой и высокой каменистостью минеральной части профиля.

Полигон № 1 по утилизации артиллерийских снарядов и ракет залпового огня, закрытый в 2013 г., расположен на залежи в Емельяновском р-не Красноярского края (рис. 1).

Действующий с 1980 г. полигон № 2 по утилизации военно-морских боеприпасов площадью 45 га расположен на южном склоне на

вырубках сосняка разнотравно-брусничного (рис. 2).

Растительный покров окрестностей полигона № 1 представлен сосновыми борами, чередующимися с березовыми колками, настоящими и луговыми степями, остепненными, суходольными и лесными лугами (Черепнин, 1956; Антипова, 2012). Остепненные луга, занимающие вершины южных склонов, представлены сообществами лугово-степного разнотравья с видами: вейник наземный *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, прострел раскрытый *Pulsatilla patens* (L.) Mill., тимфеевка степная *Phleum phleoides* (L.) H. Karst. и лугово-лесного разнотравья. Нераспаханные участки пологих увалов заняты полидоминантными злаковыми, разнотравно-злаковыми суходольными и лесными лугами, а также луговыми степями с видами: мятлики луговой *Poa pratensis* L. и узколистный *P. angustifolia* L., овсяница луговая *Festuca pratensis* Huds., ежа сборная *Dactylis glomerata* L., тимфеевка луговая *Phleum pratense* L. В течение последних 150 лет территория активно используется под пашню, сенокосы, рубки леса, значительная ее часть распахана и покрыта залежной растительностью.

В пределах полигона № 1 растительность образована залежными луговыми фитоценозами (возраст залежи 5-6 лет), представленными мозаикой поли- и монодоминантных сообществ высокотравных мезофитов, такими как серпуха венценосная *Serratula coronata* L., ежа сбор-



Рис. 2. Действующий с 1980 г. полигон по утилизации военно-морских боеприпасов (№ 2). Белой линией показано расположение плашек по отлову мелких млекопитающих. Космический снимок М 1 : 5000.

ная, и ксеромезофитов: вейник наземный и кострец безостый *Bromopsis inermis* Leys. Сообщества характеризуются сложной горизонтальной и вертикальной структурой, высокой сомкнутостью покрова (70–100 %) и высокой видовой насыщенностью (5–10 видов/м<sup>2</sup>). Восстановление залежи происходит в направлении формирования сосновых и березово-сосновых древостоев.

Растительный покров окрестностей полигона № 2 представлен светлохвойными и смешанными лесами и лесными лугами. Коренные сосновые и производные березово-сосновые леса бореально-травянистой и кустарничково-зеленомошной групп типов леса характерны для восточных и южных макросклонов Енисейского края (Средняя Сибирь, 1964; Растительность..., 1971). На молодых вырубках и гарях преобладают вейниковые лесные луга, представленные вейниками притупленным *Calamagrostis obtusata* Trin. и тростникововидным *C. arundinacea* (L.) Roth. В ходе развития в состав лугов включается высокотравное разнотравье с иван-чаем узколистным *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., борцом северным *Aconitum septentrionale* Koelle и вейником Лангсдорфа *Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin. Сельскохозяйственные земли с сопутствующей растительностью в близлежащем окружении района исследования отсутствуют.

Растительность района исследования в пределах полигона № 2 фрагментированная луго-

вая. Участки свежих воронок, как правило, лишены растительного покрова. Растительность окружающего пространства представлена преимущественно полидоминантными сообществами высокотравных мезофитов с иван-чаем узколистным, вейником тростникововидным, тысячелистником обыкновенным *Achillea millefolium* L. и ксеромезофитов с вейником наземным и полынью эстрагонной *Artemisia dracuncululus* L. Сообщества отличаются высокой сомкнутостью (80–100 %), простой вертикальной структурой и относительно высокой видовой насыщенностью (7–10 видов/м<sup>2</sup>).

На обследованном полигоне № 1 по утилизации артиллерийских снарядов образовались конусообразные воронки, имеющие радиус 8–14 м и глубину 2.5–5 м (табл. 1).

Две группы воронок расположены по схеме 6 × 6 с расстоянием 19 м и 3 × 7 через 30 м. Кроме того, 19 воронок разного размера расположены хаотично с расстоянием 26–43 м. Воронки (76 шт.) представляют собой примерно ровные конические углубления, но различного состояния: сухие без растительности; влажные с болотной растительностью; заполненные водой с макрофитами; заросшие древесно-кустарниковой растительностью. Степень зарастания воронок отражает их возраст. На действующем полигоне № 2 воронки незаросшие либо слабо заросшие травянистой растительностью. На данном полигоне можно оценить прямое воздействие взрывов на животное население.

**Таблица 1.** Показатели модельных воронок на полигоне № 1 и доминирующая растительность в них

№ п/п	Диаметр, м	Глубина, м	Объем, м <sup>3</sup>	Доминирующие виды в растительном покрове
1	14.3	5.0	271.3	Рогоз широколистный <i>Typha latifolia</i> L.
2	13.7	4.5	224.2	Тот же
3	12.0	3.7	139.4	»
4	11.4	2.6	88.4	Ива <i>Salix</i> L. sp.
5	10.9	3.0	95.0	Рогоз широколистный
6	10.8	3.3	100.7	Ива
7	10.5	3.2	90.6	»
8	10.4	2.9	82.1	Рогоз широколистный
9	10.2	3.3	89.8	Ива, сосна обыкновенная <i>Pinus sylvestris</i> L.
10	10.2	3.5	95.3	Рогоз широколистный
11	10.0	4.0	104.7	Ива
12	9.7	3.5	88.0	Рогоз широколистный
13	9.4	3.5	80.9	Тот же
14	9.2	3.4	75.3	Ива
15	9.2	3.4	75.3	Рогоз широколистный
16	9.2	2.6	57.6	Осока <i>Carex</i> L. sp.
17	9.1	3.4	75.3	Рогоз широколистный
18	9.0	4.2	89.0	Тот же
19	9.0	2.5	53.0	Осока
20	9.0	2.4	50.9	»
21	8.6	3.0	58.1	Рогоз широколистный
22	8.5	3.0	58.1	Тот же
23	8.3	3.2	59.1	»
24	8.2	3.5	61.6	Сосна обыкновенная
25	8.2	3.4	59.8	Рогоз широколистный
Средние	9.96	3.36	92.94	

Морфологическую характеристику почв выполнили на основании полевых описаний почвенных разрезов. Определение мощности нанесенного грунта проводили методом закладки почвенных прикопок (10) по линии, направленной от центра крайней воронки к краю полигона. Крайняя воронка выбрана для исключения перекрытия зон выноса грунта из соседних воронок. Прикопки закладывали через каждые 3 м на глубину 50–60 см. Параллельно определяли твердость почвы с помощью пенетрометра (Wile Soil Compaction Tester). Прибор измеряет сопротивление почвы при введении его в почву (стандарт ASAE S313.3), использовали щуп с наконечником диаметром 1.27 см. Шкала прибора основывается на единице измерения Psi – фунт на квадратный дюйм, что соответствует 0.07031 кгс/см<sup>2</sup>. В работе приводится твердость почв, пересчитанная на кгс/см<sup>2</sup>. Преимущества прибора – в оперативности измерения твердости и получении статистически достаточного объема измерений.

Геоботанические профили закладывали от центра воронки к периферии в двух направле-

ниях – на север и юг. Профиль представлял собой экологический ряд, включающий все характерные изменения экотопов (и растительных сообществ) при воздействии, возникающем в результате взрывов боеприпасов. Последовательно по линии профиля обособленные пятна растительности описывали как микрогруппировки. На дне воронки (гидрофильный компонент) и склонах (эрозиофильный компонент) группировки описывали в пределах естественных границ (площадь описания от 0.5 до 1.0 м<sup>2</sup>). Размер площадок описания растительности на участках, примыкающих к воронке, составлял 2–4 м<sup>2</sup> (Александрова, 1964). Определяли качественные показатели – состав доминантов и общий видовой состав, количественные показатели – видовую насыщенность (Whittaker, 1972), проективное покрытие и обилие.

Восстановление растительности на полигонах представляет собой сукцессионный процесс, протекающий по типу первичной и вторичной сукцессии (Ярошенко, 1950; Александрова, 1964), путем самозарастания трансформированной поверхности. Поэтому анализ изменений



Рис. 3. Обводненная воронка на полигоне № 1 через 4 года после подрыва снарядов: слева – весной, справа – летом.

растительности нарушенных участков военных полигонов включал оценку показателей растительных группировок в системе последовательных этапов восстановительной сукцессии по классификации стадий А. Г. Воронова, Л. Н. Тагуновой (1957). Отметим, что примененный метод пространственных экологических рядов дает лишь предварительные сведения о состоянии и динамике растительного покрова, которые без прямых наблюдений не могут обеспечить создание надежной схемы сукцессии растительности военных полигонов.

Изучение населения мелких млекопитающих (2017 и 2018 гг.) проводилось методом стандартного отлова плашками Геро, который используется на других объектах (давилки устанавливаются по схеме  $10 \times 10$  м с приманкой из кедрового ореха, выдержанного в нерафинированном подсолнечном масле). Возраст зверьков определяли по физиологическому состоянию (развитие тимуса). Проловы (без приманки) учитывали как подход к ловушке обычно бурозубок *Sorex Linnaeus*, 1758, sp., также их учитывали при поедании пойманных зверьков. Спущенные ловушки с приманкой относили к техническому срабатыванию (капли дождя, тонкая настожка). На воронках и фоновом участке залежи полигона № 1 устанавливали по 40 ловушек на 3 дня, всего отработано 240, средний улов 4.4 особи на 100 лов.-сут (см. рис. 2). При этом взрослых полевок-экономок *Microtus oeconomus* Pallas отловлено 10 (3 самки), молодых – 1, а узкочерепных полевок *Microtus gregalis* Pallas – 19 молодых (11 самок).

На полигоне № 2 ловчую линию в 2 ряда устанавливали на одни сутки в период подрыва

боеприпасов на удалении 200 м в нижней части склона (рис. 2).

На 111 лов.-сут отловлено 9 зверьков: 4 левки-экономки – 1 взрослый самец и 3 самки (2 взрослых), 2 молодых самца обыкновенной бурозубки *Sorex araneus* Linnaeus и взрослая самка тундровой бурозубки *Sorex tundrensis* Merriam, взрослый самец мыши полевой *Apodemus agrarius* Pallas и взрослая самка мыши восточноазиатской *Apodemus peninsulae* Thomas. По видовому и половозрастному составу следует предположить разнообразное население мелких млекопитающих и их высокую продуктивность. Все отловленные зверьки подвергались морфофизиологическому и патологическому анализам.

Гистологические исследования проводили согласно общепринятым методикам. Фиксировали отобранные органы в 10%-м растворе формалина, дегидратацию – в спиртах возрастающей плотности. Органы заливали парафином, после чего на санном микротоме изготавливали срезы тканей толщиной 5–7 мкм, окрашивали гематоксилином Эрлиха и эозином Н. Микроскопию срезов проводили на микроскопе Мик-Мед-6 с насадкой для микрофотографий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Растительность.** Общая схема восстановительной сукцессии растительного покрова военных полигонов включает 4 последовательные стадии: I – пионерную; II – простую однолетников; III – сложную многолетников; IV – закрытую с формированием фитоценологических взаимоотношений (Воронов, Тагунова, 1957).

Стадии рассматриваются по радиусу от эпицентра воронки – центральная гигрофильная часть, склоны, гребень и примыкающая территория разброса почвенного материала при взрыве.

При известном времени взрывов, установленном по возрасту древесных пород в воронках и состоянию водной растительности, можно предполагать, что заселение началось сразу после их прекращения.

Взрывные работы производятся на территориях с отчасти или полностью трансформированным растительным покровом, состояние которого соответствует стадии луговых фитоценозов восстановительной сукцессии. Комплекс мер, сопровождающих проведение взрывных работ, в значительной мере обуславливает замедление восстановительного процесса и удержание растительности в состоянии луговой стадии.

На поверхности полигонов можно выделить условно 3 зоны трансформации растительности: тотального уничтожения, погребения и отсутствия воздействия. По мере удаления от воронки степень трансформации растительности закономерно снижается.

Зона тотального уничтожения соответствует радиусу самой воронки. Здесь можно выделить 2 элемента, восстановление которых протекает в значительной мере дифференцированно: склоны и дно воронки. Склоны, как правило, лишены растительности, реже покрыты травянистой или кустарниковой растительностью. Крутизна склона и механические свойства почв определяют скорость и степень зарастания поверхности. Днища воронок имеют чаще конусовидную, реже уплощенную форму и заполнены водой. Форма водоемов, как правило, округлая, реже квадратная, вытянутая или неправильная. Диаметр колеблется от 8 до 14 м, глубина – от 2 до 5 м (см. табл. 1). Возникновение подобных водоемов обусловлено воздействием ударной волны при взрыве, в результате которого формируется водоупорный слой. Питание водоемов атмосферное и снеговое (рис. 3).

Зона погребения – участок от 0 до 15 (20) м от гребня воронки – соответствует зоне сотрясения, разброса и осыпания большей части грунта, поднятого взрывной волной. Поверхность участка занята в основном группировками высокоотравных корневищных многолетников.

Растительные группировки отличаются от фоновой (залежной) растительности упрощенной структурой, низким видовым разнообразием и высокой долей рудеральных видов растений.

Внешняя граница зоны деструкции расположена на расстоянии 5–10 м от гребня.

Динамика растительности после прекращения эксплуатации полигонов в целях утилизации боевых припасов протекает главным образом по типу сукцессий, характерных для соответствующих природных зон. Дополнительно сукцессии детерминированы характером поверхности и будут протекать с разной скоростью для водоемов в днищах воронок, склонов воронки и пространства, окружающего воронку.

Формирование водоема начинается после завершения эксплуатации воронки и происходит постепенно по мере накопления атмосферных осадков. Устойчивый уровень воды устанавливается в среднем за 2-3 года. Первичными поселенцами (пионерная стадия) являются пресноводные зеленые водоросли спирогира *Spirogyra Link sp.*, улотрикс *Ulotrix Kütz. sp.* и другие, которые образуют колонии. Часто на начальном этапе на водопокрытом грунте отмечаются сосудистые растения, диаспоры которых были занесены случайно (ветер, птицы), но они впоследствии не выживают. На дальнейших этапах (стадии однолетников и сложных группировок) водное пространство осваивают гидро-, гело- и гигрофиты – водные мхи каллиергоны *Calliergon (Sull.) Kindb. sp.* и сосудистые растения: рдест злаковый *Potamogeton gramineus L.*, рогоз широколистный, кипрей болотный *Epilobium palustre L.* и др. Терминальный этап (стадия сложных фитоценозов) нередко характеризуется сплошным зарастанием (проективное покрытие 80–100 %) поверхности водоема водной и прибрежно-водной растительностью (рис. 4).

«Жизненный цикл» водоемов в воронках полигона № 2 по сравнению с полигоном № 1 более короткий, что объясняется, на наш взгляд, большей степенью дренированности почв. Тем не менее гидроморфный режим на дне воронок сохраняется длительное время, за которое успевает сформироваться устойчивый гидрофильный растительный комплекс.

Склоны большой крутизны длительное время лишены растительности. На более пологих участках поселяются эрозиофильные травянистые малолетники, способные произрастать на уплотненных грунтах. В пределах лесостепи (№ 1) инициаторами сукцессии (пионерная и стадия однолетников) выступают засухоустойчивые травянистые малолетники с солянкой холмовой *Salsola collina Pall.*, полынью веничной *Artemisia scoparia Waldst. & Kit.* и др., формирующие как чистые, так и смешанные про-



**Рис. 4.** Инициальный этап формирования водоема в воронке (полигон № 2). А – единичные экземпляры рогоза широколистного с куртинами из трехреберника непахучего *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. по линии уреза. Терминальный этап формирования водоема в воронке (полигон № 1); Б – сообщество рдеста злакового с рогозом широколистным.

стые группировки (см. рис. 3). В подтаежной зоне (полигон № 2) пионерами выступают также малолетники солянки холмовой и трехреберника непахучего, формирующие одновидовые группировки с низкими проективным покрытием (1–5 %) и видовой насыщенностью (1–3 вида/м<sup>2</sup>). Продолжающаяся активная эрозия склонов детерминирует задержку начальных этапов динамики растительного покрова на продолжительное время.

Дальнейшая динамика (стадия сложных группировок) на пологих склонах сопровождается сменой видового состава, ростом видовой насыщенности и проективного покрытия. При этом видовой состав нестабилен (2–6 видов/м<sup>2</sup>), проективное покрытие невысокое (около 30–50 %). Сложные группировки формируют преимущественно корневищные многолетники: в лесостепной зоне ксеро- и мезофиты: подмаренник настоящий *Galium verum* L., льнянка обыкновенная *Linaria vulgaris* Mill., колокольчик жестковолосый *Campanula cervicaria* L. и др., в подтаежной зоне – мезофиты: мать-и-мачеха обыкновенная *Tussilago farfara* L., полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L., иван-чай узколистный. Изредка на склонах поселяются кустарники – ивы козья *Salix caprea* L. и енисейская *S. jenssensis* (F. Schmidt) Flod., шиповник иглистый *Rosa acicularis* Lindl. Растительный покров приобретает отдельно-зарослевое сложение. Растительность на склонах в стадии сложных фитоценозов мы не обнаружили.

В результате разброса и осыпания материала минеральных горизонтов почв, поднятого взрывной волной, происходит механически-волновое воздействие на растительный покров при-

легающей территории в радиусе до 15 (20) м. При этом растительность оказывается погребенной. После прекращения использования полигона на насыпанном (в результате взрыва) слое почвы формируется вторичный растительный покров путем самозарастания. Источниками диаспор при этом выступают растительные сообщества ненарушенного окружения.

Растительный покров в зоне деструкции примыкающей к гребню воронки на терминальном этапе восстановления представлен совокупностью пятен концентрической или неправильной формы, образуя пятнисто-мозаичный облик. Преобладают монодоминантные группировки высокотравных корневищных многолетников, отличающиеся широким диапазоном проективного покрытия (20–100 %), при этом нередко относительно высокой видовой насыщенностью (5–12 видов/м<sup>2</sup>), но слабо выраженной горизонтальной и вертикальной структурой в сравнении с фоновыми сообществами. Низкие показатели видовой насыщенности, вероятно, обусловлены конкурентными преимуществами видов растений, подземная сфера которых приспособлена к условиям более высокой плотности верхнего слоя почвы. Видовое разнообразие группировок закономерно увеличивается по мере удаления от гребня воронки. Резкая граница перехода от группировок в зоне погребения к фоновым сообществам отсутствует.

В лесостепной зоне (полигон № 1) на участках в зоне деструкции преобладают группировки травянистых многолетников из ковра безостого, пырея ползучего *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, василька шероховатого *Centaurea scabiosa* L. и других видов растений, характер-

**Таблица 2.** Состав «базовых» растительных группировок, формирующих растительный покров вокруг воронок в зоне погребения на стадии сложных группировок (лесостепь, полигон № 1)

Растительные группировки	Номера описаний						
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
ОПП, %	80	70	80	70	90	30	60
<i>Доминанты</i>							
Костер безостый	4		2		1	+	
Василек шероховатый		+	3				
Иван-чай узколистный	1	+		+	5	+	4
Пырей ползучий	1	+				+	
Мятлик луговой	1	1		+	1	1	
Жабрица порезниковая <i>Seseli libanotis</i> (L.) W. D. J. Koch			+			2	
Горошек приятный	2		3	+	1		
<i>Ассектаторы</i>							
Тысячелистник обыкновенный	+	+	1		+	1	
Репешок волосистый <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.	+	+	+			+	+
Полынь обыкновенная	+	+				+	
Бодяк щетинистый <i>Cirsium arvense</i> var. <i>integrifolium</i> Wimm. & Grab.	+	+		+	+		+
Герань луговая <i>Geranium pratense</i> L.			+				
Льнянка обыкновенная	+	+			+	+	+
Пастернак лесной <i>Pastinaca sylvestris</i> Mill.		+		+			
Звездчатка злаковая <i>Stellaria graminea</i> L.	+	+	+	+	+	+	+

*Примечание. Описание:* Красноярский край, Емельяновский р-н, 7-8 июля 2013 г. Д. Ю. Ефимов. Обилие видов дано в баллах шкалы Браун-Бланке. Случайные виды, встреченные 1–2 раза: лопух паутинистый *Arctium tomentosum* Mill., колокольчик сборный *Campanula glomerata* L., осока большехвостая *Carex macroura* Meinh., земляника зеленая *Fragaria viridis* Weston, гравилат алеппский *Geum aleppicum* Jacq., качим высочайший *Gypsophila altissima* L., борщевик сибирский *Heracleum sibiricum* L., чина луговая *Lathyrus pratensis* L., колосняк ветвистый *Leymus ramosus* (Trin.) Tzvelev, тимopheевка луговая, зопник клубненосный *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, горлюха ястребинковая *Picris hieracioides* L., горец птичий *Polygonum aviculare* L., лютик близкий *Ranunculus propinquus* C. A. Mey., погребок летний *Rhinanthus aestivalis* (N. W. Zinger) Schischk. & Serg., шиповник иглистый, одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F. H. Wigg., клевер луговой *Trifolium pratense* L., крапива двудомная *Urtica dioica* L.

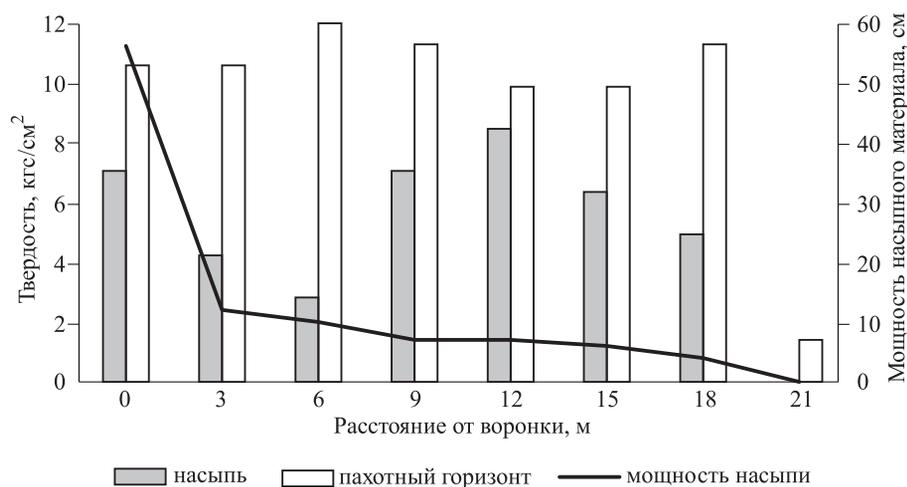
ных для залежных земель, соответствующих стадии сложной группировки (табл. 2). Реже вокруг воронок формируются монодоминантные группировки низкотравных многолетников с мятликом луговым, горошком приятным *Vicia atoeana* Fisch., льнянкой обыкновенной и др. Видовое разнообразие увеличивается также за счет обилия рудеральных и сорных видов растений, проникающих из соседних антропогенно трансформированных территорий – дорог, полей, залежей (Никитин, 1983).

Поскольку в подтаежной зоне полигон (№ 2) еще действующий, то оценка состояния растительного покрова – задача будущего.

*Почвенный покров.* Трансформация почвенного покрова исследована только на выведенном из эксплуатации полигоне № 1. На залежи данного полигона почвы имеют следующее строение профиля: АУра (0–27) – АЕ1 (27–35) – Вел (35–42) – ВТ(42–70) – ВС (70–90) – С (90–120), характеризуются слабо- и среднекислой реакцией среды.

Актуальная кислотность составляет в верхних слоях почвы от 4.8 до 5.7 ед. рН. Строение почвенного профиля по периметру воронок осложнено наличием на поверхности почвы вынесенного взрывом материала нижележащих минеральных горизонтов. Стенки воронок сложены рыхлой, осыпающейся, трещиноватой почвой, сильно турбированной в результате взрыва. Гребень воронок состоит из погребенного пахотного горизонта, накрытого слоем перемешанной материнской породы и почвы.

Расстояние, на которое распространяется почвенный материал из воронки при взрыве, зависит от физико-механических свойств почв и подстилающей материнской породы, а также мощности взрыва и последующего использования воронок для подрыва боеприпасов. На 1 м окружности воронки в среднем приходится около 3 м<sup>3</sup> выбрасываемого при взрыве грунта. Основная масса поднимающейся при взрыве почвы откладывается на краю воронки, образуя плотно сложенный вал (гребень). Мощность



**Рис. 5.** Твердость и мощность насыпного слоя почвы и пахотного горизонта относительно края воронки на полигоне № 1.

отложенного сверху слоя зависит от расстояния до центра воронки и составляет 55 см непосредственно на гребне воронки и постепенно уменьшается, сокращаясь до нуля на расстоянии 21 м (рис. 5).

На расстоянии 3 м мощность насыпанного на поверхность почвы материала значительно снижается (в 4-5 раз) и далее каждые 2-3 м постепенно уменьшается на 15–20 %. На расстоянии более 15–18 м от воронки разбросанная взрывом порода располагается фрагментарно. Под слоем насыпанного почвенного материала погребены растительные остатки травянистых растений различной степени разложения. На гребне воронки вынесенный почвенный слой имеет хаотическое строение без выраженной горизонтальной дифференциации.

Интегрированным показателем, отражающим неоднородность комплекса почвенных свойств, может выступать твердость почвы – физический показатель ее способности в естественном сложении сопротивляться сжатию и расклиниванию. Твердость отражает как механические, так и функциональные особенности почвы, характеризует почву как среду для роста и развития корней растений, условий обитания педобионтов и устройства нор мелкими млекопитающими, позволяет обнаружить даже небольшие отклонения от нормы в отдельных частях почвенного профиля.

На фоновых участках залежи обследованы почвы под разными растительными микроассоциациями с определенными доминантами. Твердость почв вне зоны распространения насыпного почвенного материала из воронок колеблется от 2 до 7 кгс/см<sup>2</sup>, под всеми растительными ас-

социациями увеличение твердости с глубиной имеет одинаковый характер (рис. 6).

Согласно имеющимся в литературе классификациям почв по твердости (Медведев, 2009), почвы на залежи рыхлые, так как имеют значения < 7 кгс/см<sup>2</sup>.

При взрывах насыпанный слой имеет более высокую (в 1.5–2 раза) твердость, но по данному показателю также относится к рыхлым и рыхловатым.

Наименьшие значения твердости вынесенной при взрыве почвы отмечаются на расстоянии 3–6 м от края воронки, при удалении от воронки наблюдается постепенное увеличение твердости с максимумом на отметке 12 м (8-9 кгс/см<sup>2</sup>), затем по мере удаления снова снижается до 4-5 кгс/см<sup>2</sup>.

Такое распределение показателя твердости, вероятно, связано с воздействием ударной волны (зона сжатия) на почву и ее ослаблением к 6 м от края воронки. Дальнейшее увеличение твердости объясняется выброшенным грунтом из центра взрыва, а также его ударом при большем расстоянии разлета. Интересно, что плотность погребенного почвенного горизонта (на глубине 10 см) в зоне взрыва имеет обратную зависимость, сохраняя высокие показатели до фрагментарного разноса грунта (9–12 кгс/см<sup>2</sup>). Это явление пока не объяснено, поскольку мощность насыпного грунта не превышает 10 см, а в фоновых растительных микроассоциациях на такой глубине твердость в 2 раза ниже (см. рис. 6). Очевидно, что до 18 м действует зона разрушения структуры почв, что повышает ее твердость. Расстояние разлета фрагментов почв совпадает с нормализацией твердости и соот-

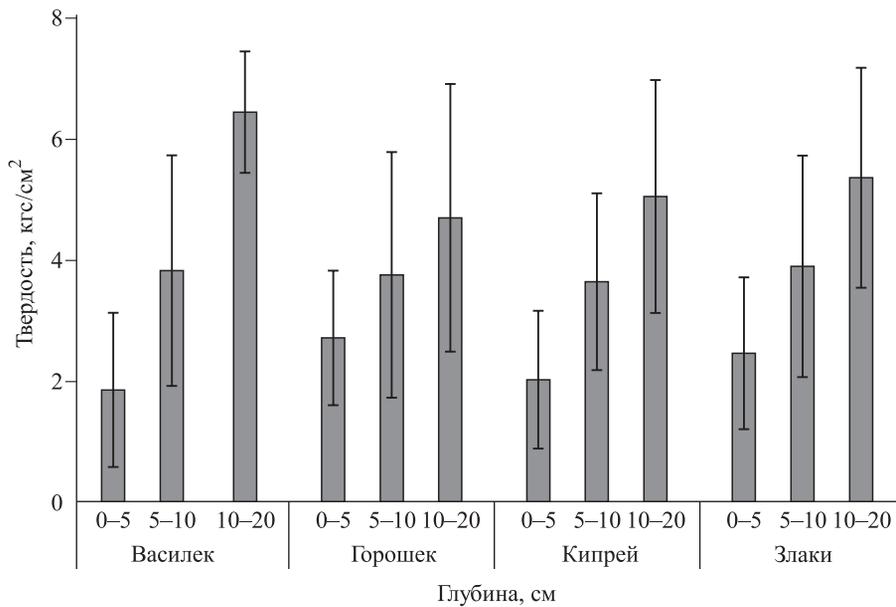


Рис. 6. Твердость (плотность) почвы под разными микроассоциациями растительности на полигоне № 1.

ветствует зоне воздействия взрывов на почву. Остается вопрос: насколько долго сохраняется твердость почв после взрыва.

*Мелкие млекопитающие.* Оценка реакции мелких млекопитающих на утилизацию боеприпасов проводили по двум направлениям: биотопическим изменениям условий обитания в местах подрыва и прямому воздействию взрывов на физиологическое состояние зверьков.

Отловы на полигоне № 1 после утилизации артиллерийских снарядов показали большое различие в видовом составе и плотности населения мышевидных грызунов около воронок и на фоновых участках залежи. Плотность около воронок составила 25 зверьков на 100 лов.-сут, на фоновом участке – на порядок меньше (2.5). При этом в структуре населения больше третьей части составляли экономки с доминированием взрослых особей (табл. 3).

Около воронок отловлена ласка *Mustela nivalis* Linnaeus, что также является показателем высокой плотности грызунов, которые служат ей

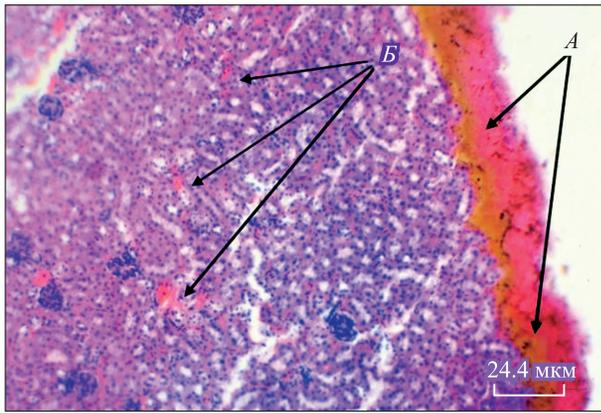
кормом. Интересен возрастной состав отловленной группировки. Среди экономок доминировали взрослые перезимовавшие особи, а среди узкочерепных полевок – молодые. Такое видовое соотношение взрослых и молодых зверьков свидетельствует о нестабильности населения мышевидных грызунов вокруг воронок. Рыхлость грунта вокруг воронок и близость воды способствуют обустройству нор и колониальному поселению экономок. Преобладание молодых особей узкочерепной полевки указывает на экспансию вида в измененные взрывами местообитания. Этому способствуют рыхлость грунта и легкое устройство убежищ, а также более высокая продуктивность фитоценозов на полигоне.

На действующем полигоне № 2 отлов проводили через 4 ч после взрывов. Отмечена высокая плотность зверьков в биотопе, непосредственно примыкающем (200 м) к полигону. Плотность мышевидных за первые сутки составила 8.2 экз. на 100 лов.-сут. При трехсуточном отлове биотопическая плотность могла достигать 20 экз., что считается высокой и указывает на благоприятные условия обитания. В отловах с небольшим перевесом доминировали экономка (4) и бурозубки (3). Отловлено также по 1 экз. полевой и восточноазиатской мыши.

Разнообразие видового состава и доминирование видов открытых пространств свидетельствуют о сложившемся населении мелких млекопитающих полигона. Отмечена низкая доля молодых зверьков (1), что указывает на высокую

Таблица 3. Результаты отлова мелких млекопитающих на воронках полигона № 1 в 2018 г.

Вид	Пол	Возраст	Количество
Полевка-экономка	♀	Взрослые	3
		Молодые	1
Узкочерепная полевка	♂	Взрослые	7
	♀	Молодые	11
	♂	»	8



**Рис. 7.** Кровоизлияние под капсулу (А) и в корковый слой почки (В). Полевка-экономка. Окраска гемато-ксилином Эрлиха и эозином. Об.  $\times 40$ .

плотность взрослых особей и миграцию нового поколения с территории этого биотопа.

Повреждения ударной волной отмечены только у молодой самки полевки-экономки, которая имела 2 крупных сформированных эмбриона на поздней стадии беременности. Брюшная полость на момент вскрытия была заполнена жидкой, свернувшейся через некоторое время (3–5 мин) кровью. В большинстве внутренних органов брюшной полости отметили выраженное кровенаполнение сосудов, питающих эти органы. Обе почки содержали на себе крупные сгустки крови, а также под капсулой многочисленные точечные кровоизлияния (рис. 7). Сходная картина повреждений была на спине и в межреберных пространствах. Кровоизлияние в паренхиму почки имеет картину по типу геморрагической инфильтрации. Кровь активно скапливается в пространстве между клубочками и их капсулой, а также в пространстве между извитыми канальцами почки.

Довольно сильные кровоизлияния происходят под серозную капсулу органа, а также в полости между серозной и жировой капсулами. Наименее поврежденными участками почки являются каудовентральная (задняя нижняя) часть, прилежащая к внутренним органам, которые, очевидно, при прохождении фронта ударной волны играют амортизирующую функцию. Такие сильные повреждения обоих органов вызывают негативные последствия для организма, которые приводят к его гибели в первые трое суток или же в дальнейший период при развитии возможных осложнений. Амортизация стромальным каркасом взрывной волны обусловила сохранение части органа неповрежденным и выживание организма за счет компенсаторных процессов со

стороны печеночной ткани при реконвалесценции. Один из наиболее возможных прогнозов развития данной патологии – появление умеренных фиброзов в областях наибольших гематом с заполнением части паренхимы неоформленной соединительной тканью. В связи с этим впоследствии возможна дистрофия участков почки. Отсутствие обширных разрывов в ткани органа дает шанс для его успешного восстановления в случае исключения повторных повреждений схожего характера.

При обследовании других органов (печени, селезенки) этой особи патологические изменения не выявлены. В верхушках долей печени имеются незначительные одиночные кровоизлияния размером не более  $15 \times 20$  мкм, в селезенке изменения не выявлены.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования на полигонах по утилизации боеприпасов выявили последствия этого воздействия на почву, растительность и животное население. Подрыв боеприпасов оказывает существенное физическое влияние на все компоненты экосистемы. Прямое воздействие проявляется в действии ударной волны, вызывающей изменение рельефа и структуры почвенного покрова, т. е. условий обитания растительности и животного населения. Полученные данные позволяют проводить оценку воздействия подрыва боеприпасов на окружающую среду, а также моделировать ее последующее состояние.

Восстановление растительного покрова в условиях лесостепи и более влажных условиях низкогорной подтайги происходит успешно путем самозарастания поверхностей полигонов и формирования на начальных этапах сукцессии мозаичной структуры из серийных растительных сообществ, характерных для открытых автоморфных выровненных, склоновых пространств и гидроморфных участков. Терминальные стадии сукцессии, наиболее вероятно, будут протекать путем формирования производных экосистем подтаежного типа с включением водно-болотных элементов.

Очевидно, что образование воронок вносит разнообразие в условия обитания растений и животных. При этом необходимо учитывать, что при размещении полигонов на сельскохозяйственных угодьях после завершения их эксплуатации необходимо проводить рекультивацию (засыпку воронок, восстановление почвенного плодородного слоя и проч.).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0356-2019-0027.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Александрова В. Д.* Динамика растительного покрова // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 300–447 [*Aleksandrova V. D.* Dinamika rastitel'nogo pokrova (Dynamics of vegetation cover) // Polevaya geobotanika (Field geobotany). Moscow-Leningrad: Nauka, 1964. V. 3. P. 300–447 (in Russian)].
- Антипова Е. М.* Флора внутриконтинентальных островных лесостепей Средней Сибири. Красноярск: Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева, 2012. 660 с. [*Antipova E. M.* Flora vnutrikontinentalnykh ostrovnnykh lesostepey Sredney Sibiri (Flora of inland continental island forest-steppes of the Central Siberia). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk gos. ped. un-t im. V. P. Astafyeva (V. P. Astafev Krasnoyarsk St. Ped. Univ.), 2012. 660 p. (in Russian)].
- Арутюнов О. А., Григорян С. С., Камалян Р. З.* О влиянии формы свободной поверхности на процесс выброса грунта взрывом // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19. № 3. С. 104–110 [*Arutyunov O. A., Grigoryan S. S., Kamalyan R. Z.* O vliyaniy formy svobodnoy poverkhnosti na protsess vybroso grunta vzyvom (On the effect of the shape of the free surface on the process of soil ejection by an explosion) // Fizika goreniya i vzyryva. (Combustion and explosion physics). 1983. V. 19. N. 3. P. 104–110 (in Russian)].
- Арутюнов О. А., Григорян С. С., Камалян Р. З.* О влиянии влажности грунтов на параметры воронки выброса // Физика горения и взрыва. 1985. Т. 21. № 2. С. 139–142 [*Arutyunov O. A., Grigoryan S. S., Kamalyan R. Z.* O vliyaniy vlazhnosti gruntov na parametry voronki vybroso (On the effect of soil moisture on the parameters of the discharge funnel) // Fizika goreniya i vzyryva (Combustion and explosion physics). 1985. V. 21. N. 2. P. 139–142 (in Russian)].
- Арутюнов О. А., Дыскин В. Г., Камалян Р. З.* О форме воронки выброса в грунтах // Физика горения и взрыва. 1986. Т. 22. № 3. С. 128–131 [*Arutyunov O. A., Dyskin V. G., Kamalyan R. Z.* O forme voronki vybroso v gruntakh (About the shape of the discharge funnel in soils) // Fizika goreniya i vzyryva (Combustion and explosion physics). 1986. V. 22. N. 3. P. 128–131 (in Russian)].
- Бондарь П. П., Плакий В. А., Губенко С. П.* О подобии и моделировании действия взрывов сферических зарядов выброса в слабосвязанных грунтах // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26. № 3. С. 101–105 [*Bondar P. P., Plakisy V. A., Gubenko S. P.* O podobii i modelirovaniy deystviya vzyrovov sfericheskikh zaryadov vybroso v slabosvyazannykh gruntakh (On the similarity and modeling of the action of explosions of spherical emission charges in loosely coupled soils) // Fizika goreniya i vzyryva (Combustion and explosion physics). 1990. V. 26. N. 3. P. 101–105 (in Russian)].
- Воронов А. Г., Тагунова Л. Н.* О стадиях формирования фитоценозов // Бюл. Моск. об-ва исп. природы. Отд. биол. 1957. Т. LXII (5). С. 105–112 [*Voronov A. G., Tagunova L. N.* O stadiyakh formirovaniya fitotsenozov (On the stages of formation of phytocenoses) // Byul. Mosk. ob-va isp. prirody. Otd. biol. (Bull. Moscow Soc. Invest. Nat. Biol. Br.). 1957. V. LXII (5). P. 105–112 (in Russian)].
- Горная энциклопедия / Под ред. Е. А. Козловского. М.: Сов. энцикл., 1984. Т. 1. 558 с. 1986. Т. 2. 575 с. 1987. Т. 3. 592 с. 1989. Т. 4. 623 с. 1991. Т. 5. 541 с. [Gornaya entsiklopediya (Mountain encyclopedia) / E. A. Kozlovskiy (Ed.). Moscow: Soviet encyclopedia, 1984. V. 1. 558 p. 1986. V. 2. 575 p. 1987. V. 3. 592 p. 1989. V. 4. 623 p. 1991. V. 5. 541 p. (in Russian)].
- Зеленкин В. Г., Боровик С. И., Бабкин М. Ю.* Теория горения и взрыва: конспект лекций. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. 166 с. [*Zelenkin V. G., Borovik S. I., Babkin M. Yu.* Teoriya goreniya i vzyryva: konspekt lektsiy (Theory of combustion and explosion: lecture notes). Chelyabinsk: Izd. tsentr YuUrGU (South Ural St. Univ. Publ. Center), 2011. 166 p. (in Russian)].
- Калыженков А. Н., Мальгин Д. П.* Взрывчатые вещества и пороха: учеб. пособ. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. 140 с. [*Kalyzhenkov A. N., Malgin D. P.* Vzryvchatye veshchestva i poroha: ucheb. posob. (Explosives and gunpowder: training manual). Chelyabinsk: Izd. tsentr YuUrGU (South Ural St. Univ. Publ. Center), 2014. 140 p. (in Russian)].
- Криминалистика. Учеб. для бакалавров / Под ред. Л. В. Бертовского. М.: ПГ-Пресс, 2018. 960 с. [Kriminalistika. Ucheb. dlya bakalavrov (Criminalistics. Textbook for BSc) / L. V. Bertovskiy (Ed.). Moscow: RG-Press, 2018. 960 p. (in Russian)].
- Ляхов Г. М., Покровский Г. И.* Взрывные волны в грунтах. М.: Госгортехиздат, 1962. 103 с. [*Lyakhov G. M., Pokrovskiy G. I.* Vzryvnye volny v gruntakh. (Blast waves in grounds). Moscow: Gosgortekhzdat, 1962. 103 p. (in Russian)].
- Марков В. А., Овчинников А. Ф.* Параметры поля взрыва компактных зарядов вещества на малых расстояниях // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2011. № 4 (4). С. 1608–1610 [*Markov V. A., Ovchinnikov A. F.* Parametry polya vzyryva kompaktnykh zaryadov veshchestva na malykh rasstoyaniyakh (Explosion field parameters for compact shaped charges exploded at small distances) // Vest. Nizhegorod. un-ta im. N. I. Lobachevskogo (Bull. Lobachevsky Univ. Nizhny Novgorod). 2011. N. 4 (4). P. 1608–1610 (in Russian with English abstract)].
- Медведев В. В.* Твердость почвы. Харьков: Гор. типогр., 2009. 152 с. [*Medvedev V. V.* Tverdost pochv (Soil penetration resistance). Kharkiv: Gor. tipogr. (13 Press), 2009. 152 p. (in Russian with English abstract)].
- Никитин В. В.* Сорные растения флоры СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1983. 453 с. [*Nikitin V. V.* Sornye rasteniya flory SSSR (Weed plants of the USSR flora). Leningrad: Nauka. Leningrad Br., 1983. 453 p. (in Russian)].
- Поляк Э. Б.* О форме воронки выброса при взрыве вертикальных зарядов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1974. № 3. С. 118–122 [*Polyak E. B.* O forme voronki vybroso pri vzyryve vertikalnykh zaryadov (On the shape of the ejection funnel in the explosion of vertical charges) // Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh. 1974. № 3. P. 118–122 (in Russian)].

- mykh (Physical and technical problems of mining). 1974. N. 3. P. 118–122 (in Russian)].
- Растительность правобережья Енисея. Южная часть Красноярского края. Сб. ст. / Под ред. А. В. Куминовой. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 379 с. [Rastitelnost pravoberezhya Eniseya. Yuzhnaya chast Krasnoyarskogo kraya. Sb. st. (Vegetation of the right bank of Yenisei river. Southern part of Krasnoyarsk Krai. Coll. Articles) / A. V. Kuminova (Ed.). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Nauka. Sib. Br.), 1971. 379 p. (in Russian)].
- Соболев В. В. Технология и безопасность выполнения взрывных работ (краткий курс лекций): учебник. Днепропетровск: Нац. горн. ун-т, 2008. 164 с. [Sobolev V. V. Tekhnologiya i bezopasnost vupolneniya vzryvnykh работ (kratkiy kurs lekciy): uchebnik (Technology and safety of blasting operations (short course of lectures): textbook). Dnepropetrovsk: Nats. gorn. un-t (Nat. Mining Univ.), 2008. 164 p. (in Russian)].
- Средняя Сибирь. М.: Наука, 1964. 480 с. [Srednyaya Sibir (Central Siberia). Moscow: Nauka, 1964. 480 p. (in Russian)].
- Фищенко П. А. Расчет выемки выброса при взрыве плоского шнуrowого заряда, расположенного на твердом дне // Тр. сем. по краев. задачам. 1985. Вып. 22. С. 190–192 [Fishchenko P. A. Raschet vyemki vybrosa pri vzryve ploskogo shnurowogo zaryada, raspolozhennogo na tverdom dne (Calculation of the ejection in the explosion of a flat cord charge located on a hard bottom) // Tr. sem. po kraev. zadacham (Proc. Sem. Boundary Tasks). 1985. Iss. 22. P. 190–192 (in Russian)].
- Черепнин Л. М. Растительный покров южной части Красноярского края и задачи его изучения // Уч. зап. Краснояр. пед. ин-та. 1956. Т. 5. С. 3–43 [Cherepnin L. M. Rastitelny pokrov yuzhnoy chasti Krasnoyarskogo kraya i zadachi ego izucheniya (Vegetation cover of the southern part of Krasnoyarsk Krai and the tasks of its study) // Uch. zap. Krasnoyar. ped. in-ta (Sci. Not. Krasnoyar. Ped. Inst.). 1956. V. 5. P. 3–43 (in Russian)].
- Ярошенко П. Д. Основы учения о растительном покрове. М.: Географгиз, 1950. 218 с. [Yaroshenko P. D. Osnovy ucheniya o rastitelnom pokrove (Basics of the studies on vegetation cover). Moscow: Geografgiz, 1950. 218 p. (in Russian)].
- Anderson D. C., Ostler W. K. Revegetation of degraded lands at U. S. Department of Energy and U. S. Department of Defense installations: strategies and successes // Arid Land Res. Manag. 2002. V. 16. Iss. 3. P. 197–212.
- Cablk M. Experiencing nature in militarized landscapes: If a bomb drops in the desert, do we still call it wilderness? // Military Geosciences in the Twenty-First Century. The Geol. Soc. America. V. 22. GeoScienceWorld, 2014. P. 205–215.
- Caldwell T. G., McDonald E. V., Young M. H. Soil disturbance and hydrologic response at the National Training Center, Ft. Irwin, California // J. Arid Environ. 2006. V. 67. Iss. 3. P. 456–472.
- Radziemska M., Beś A., Gusiatin Z. M., Cerdà A., Mazur Z., Jeznach J., Kowal P., Brtnický M. The combined effect of phytostabilization and different amendments on remediation of soils from post-military areas // Sci. Total Environ. 2019. V. 688. P. 37–45.
- Zentelis R., Lindenmayer D. Manage military land for the environment // Nature. 2014. V. 516. P. 170.
- Whittaker R. H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. 1972. V. 21. N. 2/3. P. 213–251.

## IMPACT OF UTILIZATION OF MUNITIONS TO FOREST ECOSYSTEMS

A. S. Shishikin<sup>1</sup>, T. V. Ponomareva<sup>1</sup>, D. Yu. Efimov<sup>2</sup>, A. A. Lyuto<sup>1</sup>, I. I. Bryukhanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences  
Borok, 109, Nekouzskiy District, Yaroslavl Oblast, 152742 Russian Federation

<sup>3</sup> Irbeysky Forestry District Ministry of Forestry of Krasnoyarsk Krai  
Lesnaya str., 8, Irbeyskoe, Irbeysky District, Krasnoyarsk Krai, 663650 Russian Federation

---

E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru, bashkova\_t@mail.ru, dnsfmv@gmail.com, luto\_a\_a@rambler.ru,  
igor\_i\_b@mail.ru

The article highlights the impact of ammunition at military ranges on the natural environment of disposal. The results of complex studies are presented (soil, vegetation, small mammals) for two sites: in the Krasnoyarsk forest-steppe (N. 1), where in 2013 the disposal of projectiles was completed and in Kansk subtaiga (N. 2), where the disposal of projectiles continue. The scientific novelty of the work lies in the interdisciplinary consideration of the issue using instrumental research methods and satellite data. It was found that under the influence of explosions, a belligerative landscape is formed, funnels are formed, which are filled with water. As a result of the removal of soil (soil and underlying parent rocks) during explosions, the structural organization and physical properties of soils change at a distance of up to 15 m from the edge of the funnel. The authors note that the formation of communities takes a long time and begins from the pioneer stage as result of shedding of the walls an erosional succession type occurs in the blast craters. The direct impact of explosions is manifested as internal hemorrhage and impaired kidney in small mammals. An indirect effect is manifested in a change in the biotope: loosening the soil and the formation of reservoirs at the bottom of the craters, contributes to the formation of local settlements of tundra voles *Microtus oeconomus* Pallas. According to the results of the research, the parameters and spatial confinedness of disturbed by the explosions habitats were determined, which is necessary for the organization and monitoring of this anthropogenic impact. This problem has been little studied and requires further research.

**Keywords:** *military polygons, soil, vegetation, small mammals.*

**How to cite:** Shishikin A. S., Ponomareva T. V., Efimov D. Yu., Lyuto A. A., Bryukhanov I. I. Impact of utilization of munitions to forest ecosystems // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2021. N. 2. P. 17–31 (in Russian with English abstract and references).