

## ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РЕАГЕНТНОГО КАПСУЛИРОВАНИЯ

Е. Г. Холкин, Л. О. Штриплинг, К. С. Ларионов

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Омск, Российская Федерация)

*Предлагается адаптированная к арктическим условиям технология для оперативного устранения последствий аварийных ситуаций, сопровождающихся разливами нефтепродуктов. Описывается принцип работы оборудования, позволяющего осуществлять обезвреживание почвы, загрязненной нефтепродуктами, в природно-климатических условиях Арктики с использованием технологии реагентного капсулирования. Приведены результаты экспериментальных исследований, позволяющие определить оптимальное количество реагента, необходимое для эффективного завершения обезвреживания снега, загрязненного моторным маслом, и почвы, загрязненной нефтепродуктами, в зависимости от степени загрязнения и вида загрязняющего вещества. Проведенные исследования подтверждают, что технология реагентного капсулирования успешно зарекомендовала себя в суровых природно-климатических условиях и подходит для обезвреживания почвы и снега, загрязненных бензином, дизельным топливом и моторным маслом.*

**Ключевые слова:** Арктика, разлив нефтепродуктов, загрязнение почвы нефтепродуктами, обезвреживание почвы, рекультивация, реагентное капсулирование.

Статья поступила в редакцию 20 октября 2016 г.

### Введение

Арктическая зона Российской Федерации занимает значительную территорию страны и отличается от других регионов особыми природно-климатическими условиями. Температура окружающей среды в зимний период в Арктике может опускаться до  $-70^{\circ}\text{C}$ , и практически вся территория находится в зоне вечной мерзлоты, глубина которой местами достигает 500 м и более.

Согласно «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [5] одним из приоритетных направлений ее развития является обеспечение экологической безопасности (ст. 7, п. «г»). Предусматривается ликвидация экологического ущерба, причиненного в результате прошлой хозяйственной, военной и иной деятельности, включая оценку причиненного экологического ущерба

и реализацию мероприятий по очистке арктических морей и территории от загрязнения (ст. 16, п. «в»).

Основными потенциальными источниками возникновения аварийных ситуаций являются эксплуатируемые машины и оборудование по добыче и транспортировке углеводородов. Для элементов транспортно-технологических машин и комплексов, эксплуатируемых в экстремальных природно-климатических условиях Арктики, определяющим внешним фактором, воздействующим на их работоспособность, является низкая температура атмосферного воздуха. Под ее влиянием ухудшаются основные физико-механические свойства конструкционных материалов (повышается склонность к хрупкому разрушению), снижаются эксплуатационные характеристики и увеличивается вероятность возникновения аварийных ситуаций, в результате которых нефтепродукты, используемые в качестве топлива или смазочных материалов, неизбежно попадают в почву. Серьезную проблему для экологической

безопасности представляют флюидодинамические процессы в околоскважинном пространстве при освоении месторождений углеводородов с формированием техногенных залежей и созданием аварийных ситуаций, нередко приводящих к катастрофическим выбросам газа и нефти [1]. Еще одной важной причиной загрязнения нефтепродуктами и возникновения чрезвычайных ситуаций на территории Арктики, Сибири и Дальнего Востока могут быть наводнения и затопления площадок, где расположены хранилища углеводородов [2; 3].

В силу экстремальных природно-климатических условий почва на территории Арктики, Сибири и Дальнего Востока отличается низкой устойчивостью к нефтяному загрязнению. Слабый потенциал самовосстановления почвы в условиях короткого вегетационного периода и низких температур предполагает разработку и использование адаптированных к арктическим условиям технологий для оперативного преодоления последствий аварийных разливов нефтепродуктов.

### **Обоснование выбора технологии обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами**

Для устранения последствий загрязнения почвы нефтепродуктами применяют различные технологии обезвреживания. При выборе конкретной технологии важно учитывать, что каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, а также условия, при которых она может быть реализована. В настоящее время активно обсуждаются вопросы применения технологии биоремедиации в арктических условиях, ведется разработка биологических препаратов, при помощи которых возможно осуществлять обезвреживание нефтезагрязненной почвы в суровых климатических условиях Севера [11; 8]. Созданы биологические препараты, эффективные при пониженных положительных температурах окружающей среды [6]. Однако биологический способ отличается большой длительностью, и он не может быть применен в условиях короткого вегетационного периода, при сильном загрязнении почвы нефтепродуктами [10], а также при отрицательных температурах окружающей среды. Поэтому в условиях Арктики, Сибири и Дальнего Востока для обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами, одной из самых перспективных является технология реагентного капсулирования, основанная на инкапсуляции загрязняющего вещества с применением щелочного реагента на основе кальция. Для этой технологии наиболее подходящим реагентом является быстрогасящаяся воздушная порошкообразная получаемая размолотом негашеная известь первого сорта, изготовленная согласно ГОСТ 9179-77 «Известь строительная».

Основными преимуществами технологии реагентного капсулирования является оперативность обезвреживания загрязненной почвы по сравнению



Рис. 1. Капсулированный материал, полученный в результате обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами

с другими технологиями обезвреживания. Кроме того, строительная известь, используемая в качестве реагента, в России производится в промышленных масштабах и недорого по сравнению с другими реагентами, биологическими препаратами и растворами для экстрагирования нефтепродуктов.

Экспериментальные исследования показали, что технология реагентного капсулирования успешно зарекомендовала себя в тяжелых природно-климатических условиях и подходит для обезвреживания почвы, загрязненной бензином, дизельным топливом и моторным маслом [9]. В результате обезвреживания загрязненной нефтепродуктами почвы получается мелкодисперсный сыпучий материал, по внешнему виду напоминающий обыкновенный песок (рис. 1). При этом следует отметить, что он является отходом четвертого класса опасности для окружающей среды и требует дальнейшей утилизации.

Экспериментальные исследования [7] свойств капсулированного материала, полученного в результате обезвреживания нефтешлама или почвы, загрязненной нефтепродуктами, показали, что капсулированный материал устойчив к воздействию природных и техногенных факторов, таких как влага, температурные колебания, кислотные дожди и высокое давление.

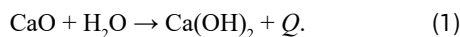
### **Описание технологии реагентного капсулирования и постановка задач исследования**

Технология реагентного капсулирования представляет собой сложный процесс, однако в очень упрощенном виде она может быть реализована в несколько стадий.

На первой стадии к почве, загрязненной нефтепродуктами, добавляется реагент (оксид кальция), затем осуществляется процесс гомогенизации до получения

однородной смеси. В результате реагент со всех сторон обволакивает загрязняющее вещество.

На второй стадии к полученной смеси добавляется вода, и происходит экзотермическая реакция



При этом количество выделяемой энергии зависит от вида (сорта) используемой строительной извести в качестве реагента, а именно от наличия в ней активного оксида кальция.

На третьей стадии полученная смесь выгружается из реактора-смесителя наружу, где начинают формироваться микрокапсулы. На окружающем воздухе происходит взаимодействие полученного в результате реакции (1) гидроксида кальция с углекислым газом. В результате этого взаимодействия на поверхности загрязняющего вещества образуется оболочка из карбоната кальция с выделением влаги:



При последующем нахождении капсулированного материала на воздухе происходит дальнейшее образование и упрочнение оболочки из карбоната кальция (2) на поверхности загрязняющего вещества.

Заключительный этап ликвидации последствий техногенного загрязнения окружающей среды, связанного с аварийными разливами нефтепродуктов, — утилизация полученного капсулированного материала.

Однако в условиях отрицательной температуры окружающей среды при обезвреживании почвы, загрязненной нефтепродуктами, возникают серьезные проблемы, которые препятствуют нормальному протеканию процесса обезвреживания.

Первая проблема заключается в отсутствии возможности осуществления процесса гомогенизации нефтезагрязненной почвы и реагента до получения однородной массы (первая стадия процесса обезвреживания). Это связано с тем, что в суровых природно-климатических условиях Арктики почва, загрязненная нефтепродуктами, длительное время находится в смерзшемся состоянии.

Другая проблема состоит в том, что в условиях отрицательной температуры при взаимодействии гидроксида кальция с углекислым газом (2) выделяющаяся влага замерзает и образует ледяную корочку, которая препятствует доступу углекислого газа из окружающего воздуха к гидроксиду кальция, и, следовательно, процесс дальнейшего образования и упрочнения оболочек микрокапсул не происходит.

Для преодоления указанных проблем необходимо решить две задачи. Первая заключается в уточнении технологии реагентного капсулирования для обезвреживания в арктических условиях почвы, загрязненной нефтепродуктами. Вторая задача — разработка оборудования, позволяющего в суровых

природно-климатических условиях Арктики осуществлять процесс обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами, используя технологию реагентного капсулирования.

### **Оборудование для обезвреживания нефтезагрязненной почвы в условиях Арктики**

Авторы настоящей статьи разработали конструкцию установки [4], позволяющей осуществлять обезвреживание нефтешлама или почвы, содержащей нефтепродукты, в условиях отрицательной температуры непосредственно вблизи источника образования нефтесодержащего отхода. Схема установки представлена на рис. 2.

В данной установке тепловая энергия экзотермического процесса химического обезвреживания нефтесодержащего материала используется для оттаивания последующей порции смерзшегося нефтесодержащего материала. А для ускорения формирования и упрочнения внутри установки микрокапсул, образующихся в результате обезвреживания нефтесодержащего материала, в корпус установки принудительно подается углекислый газ на этапе образования оболочки из карбоната кальция на поверхности загрязняющего вещества.

С использованием закона Гесса были проведены расчеты тепловой энергии, выделяемой в процессе обезвреживания. Они показали, что в зависимости от сорта извести, используемой в качестве реагента, выделяется различное количество энергии. Например, строительная известь первого сорта содержит 90% активного оксида кальция, а известь третьего сорта — 70%. Тогда при использовании в качестве реагента 1 кг извести первого сорта выделяется 1049 кДж, а при использовании извести третьего сорта — 816 кДж. При этом в результате взаимодействия гидроксида кальция с углекислым газом также выделяется энергия: в ходе химической реакции (2) выделяется 1530 кДж.

Поскольку в природно-климатических условиях Арктики почва, загрязненная нефтепродуктами, содержит влагу и находится в смерзшемся состоянии, для успешного осуществления обезвреживания необходимо все смерзшиеся куски нефтезагрязненной почвы предварительно нагреть, чтобы они растаяли. Согласно расчетам для расплавления 1 кг льда необходимо 424 кДж. Поэтому тепловой энергии, выделяющейся в результате химической реакции (1) при взаимодействии оксида кальция и воды, гарантированно хватит для успешного обезвреживания нефтезагрязненной почвы.

### **Проведение эксперимента, имитирующего обезвреживание нефтезагрязненной почвы в условиях Арктики**

Для определения оптимального количества реагента, необходимого для эффективного завершения обезвреживания в арктических условиях, была проведена серия экспериментов по

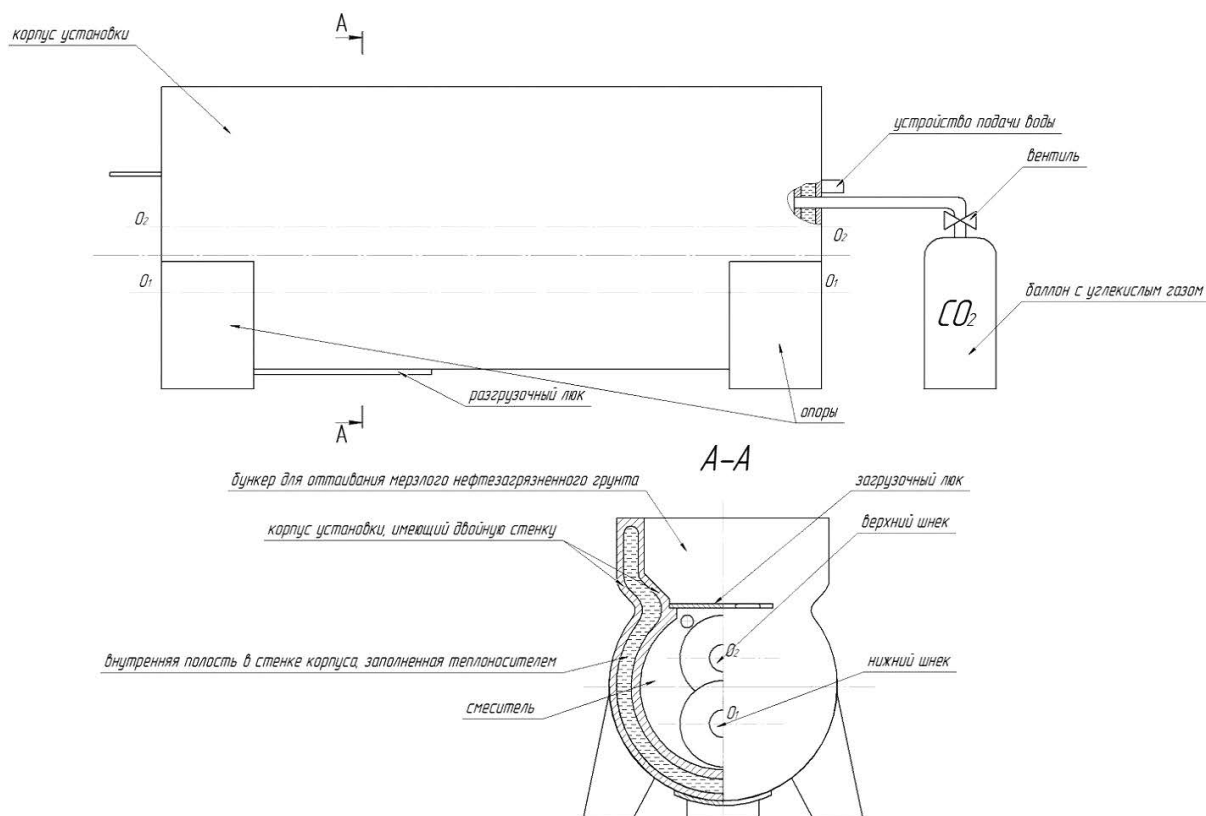


Рис. 2. Схема установки для обезвреживания в условиях Арктики почвы, загрязненной нефтепродуктами

уточнению технологии обезвреживания методом реагентного капсулирования почвы, загрязненной нефтепродуктами.

Обезвреживание осуществлялось с использованием негашеной строительной извести третьего сорта согласно ГОСТ 9179-77 «Известь строительная», которая значительно дешевле извести первого сорта.

Исследовались три партии образцов. При подготовке образцов учитывался наиболее распространенный вид загрязнения, возникающий при авариях различного вида транспорта в экстремальных природно-климатических условиях Арктики, сопровождающихся разливами нефтепродуктов. Две партии были изготовлены из почвы, содержащей нефтепродукты: первая содержала моторное масло, вторая — дизельное топливо. Третья партия была изготовлена из снега с добавлением моторного масла. При этом все партии имели различную степень загрязнения нефтепродуктами.

Каждый образец подвергался обезвреживанию методом реагентного капсулирования с добавлением различного количества реагента. В зависимости от количества реагента процесс обезвреживания в виде химической реакции (1) с образованием гидроксида кальция происходил не всегда. Первым критерием оценки процесса обезвреживания являлось значительное повышение температуры после

добавления воды в гомогенную смесь, состоящую из реагента и нефтезагрязненной почвы. Если после добавления воды температура смеси не изменялась или менялась незначительно, считалось, что добавленного реагента для осуществления процесса обезвреживания недостаточно, и этот образец дальнейшему исследованию не подвергался. Следующим критерием являлся внешний вид полученного капсулированного материала. При успешном обезвреживании почвы полученный капсулированный материал должен представлять собой сухой мелкодисперсный сыпучий материал, внешний вид которого представлен на рис. 1. Для тех образцов капсулированного материала, химическая реакция в которых протекала успешно, спустя семь суток после обезвреживания определялся водородный показатель pH солевой вытяжки полученного капсулированного материала. При определении водородного показателя солевой вытяжки некоторых образцов после их погружения в воду на ее поверхности появлялась масляная пленка вследствие того, что оболочка микрокапсул, образованная в результате обезвреживания, была негерметичной, и это способствовало выходу нефтепродуктов наружу. В таком случае считалось, что процесс обезвреживания в полном объеме не осуществлен. После определения водородного показателя солевой вытяжки для всех образцов капсулированного материала были

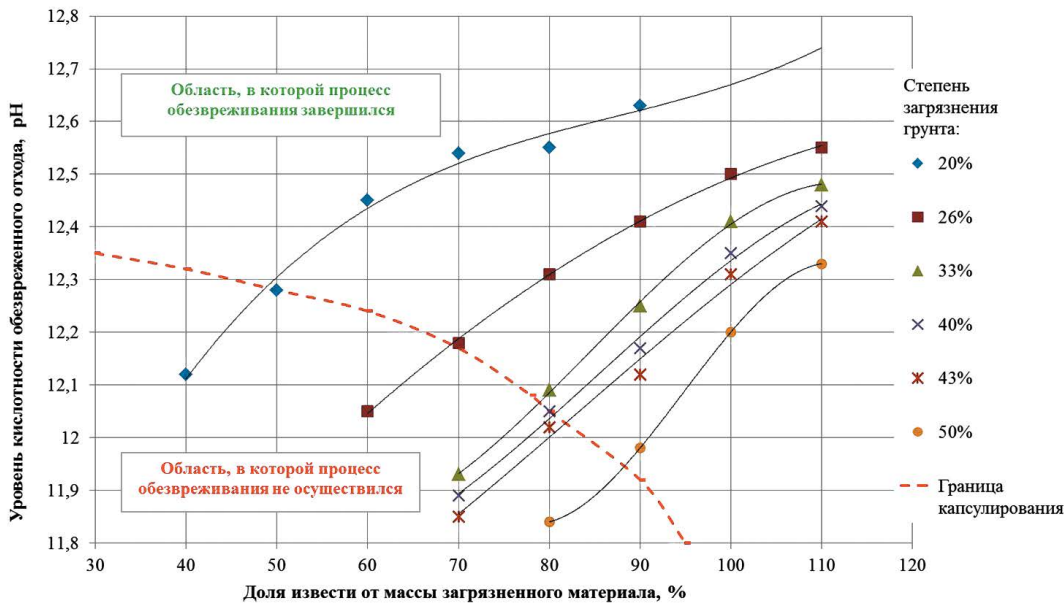


Рис. 3. Диаграммы зависимости уровня кислотности обезвреженной почвы, содержащей моторное масло, от степени загрязнения и извести

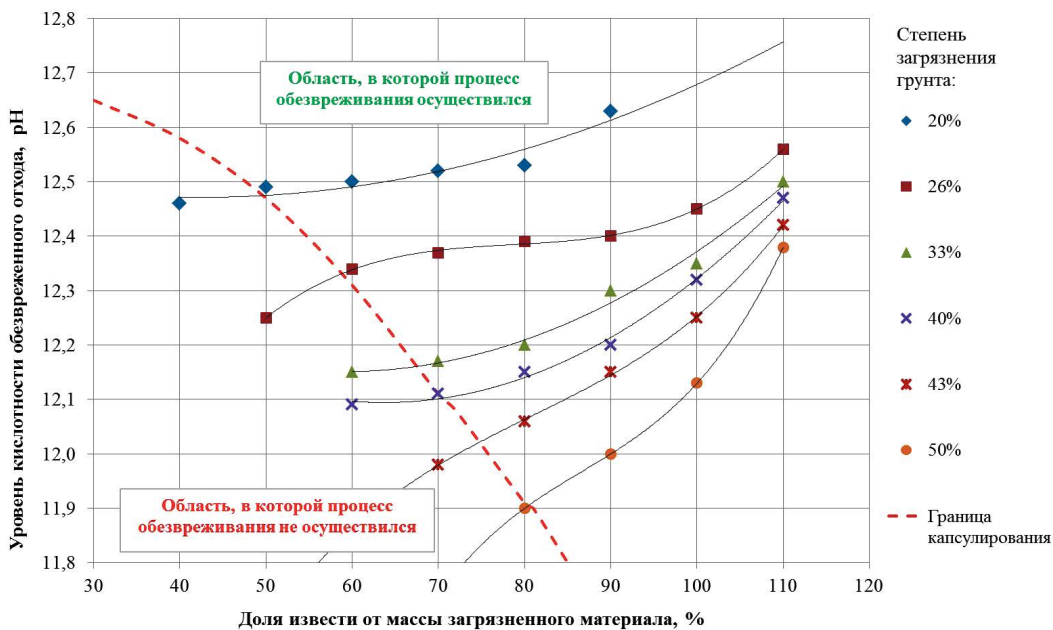


Рис. 4. Диаграммы зависимости уровня кислотности обезвреженной почвы, содержащей дизельное топливо, от степени загрязнения и извести

выявлены те из них, для которых при минимальном количестве добавляемого реагента процесс обезвреживания полностью завершился. Согласно этим данным была определена «граница капсулирования», которая отделяет область, в которой обезвреживание успешно завершилось, от области, где оно осуществлено не было. Результаты исследований приведены в виде диаграмм зависимости уровня кислотности обезвреженной почвы (грунта), содержащей нефтепродукты, от степени загрязнения

и количества добавляемой извести (рис. 3 и 4) [9]. На представленных диаграммах в области, где процесс обезвреживания не осуществился, располагаются точки, соответствующие образцам капсулированного материала, для которых на поверхности воды после их помещения в воду появлялась масляная пленка.

Используя точки, образованные путем пересечения «границы капсулирования» и кривых, характеризующих зависимость уровня кислотности обезвреженной

почвы, содержащей нефтепродукты, от степени загрязнения и количества извести (см. рис. 3 и 4), построены диаграммы (рис. 5), позволяющие определить оптимальное количество реагента, необходимое для эффективного завершения обезвреживания почвы, содержащей нефтепродукты, в зависимости от степени загрязнения и вида загрязнителя (моторное масло, дизельное топливо и т. д.).

Такое представление результатов исследования позволяет определить оптимальное количество реагента, необходимое для эффективного обезвреживания содержащей нефтепродукты почвы в зависимости от вида загрязнителя. Например, при обезвреживании методом реагентного капсулирования почвы, содержащей 30% моторного масла от массы почвы, необходимо использовать в качестве реагента известь в количестве не менее 75% массы загрязненного материала. Для эффективного обезвреживания почвы, содержащей такое же количество дизельного топлива, необходимо добавить известь в количестве не менее 62% массы загрязненного материала.

Экспериментальное определение оптимального (минимального) количества извести, используемой в качестве реагента, необходимого для эффективного завершения обезвреживания снега, загрязненного моторным маслом, дало результаты, представленные на рис. 6. На диаграмме видно, что минимальное содержание реагента для формирования полноценных капсул при загрязнении снега нефтепродуктами до 40%, значительно выше загрязнения почвы и составляет 110% массы загрязненного материала. При этом с повышением степени загрязнения снега нефтепродуктами более 40% наблюдается значительное увеличение количества извести, необходимого для обезвреживания. Видимо, это связано с высоким содержанием жидкой фазы, образующейся в смеси снега с нефтепродуктом.

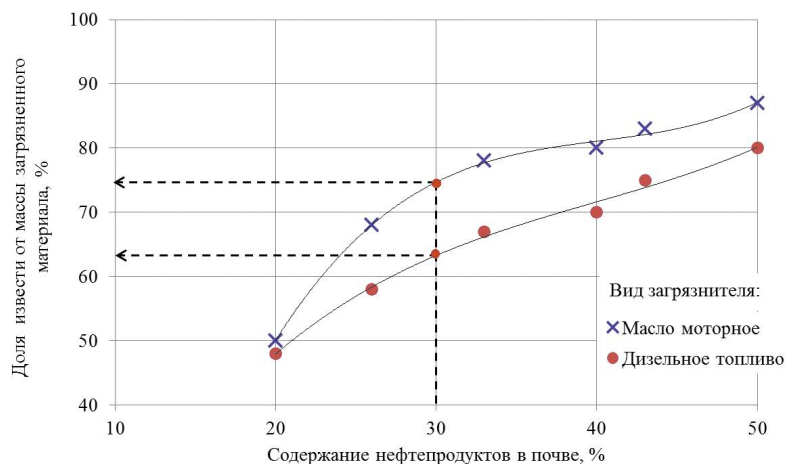


Рис. 5. Диаграммы зависимости необходимого количества извести для обезвреживания грунта, содержащего нефтепродукты

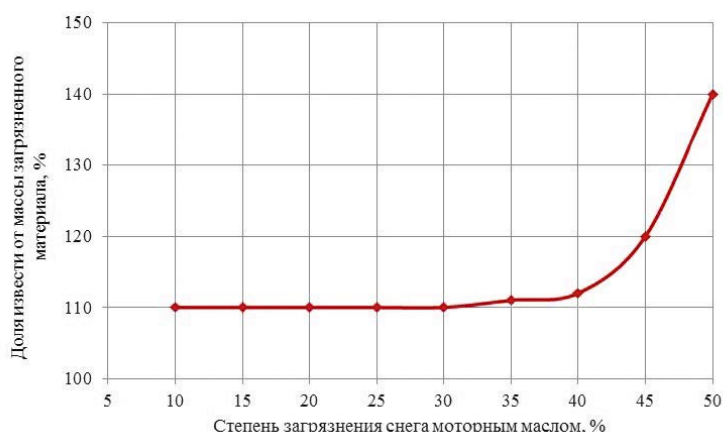


Рис. 6. Диаграмма зависимости необходимого количества извести для обезвреживания снега, загрязненного моторным маслом

Полученные диаграммы (см. рис. 5 и 6) позволяют определить оптимальное количество реагента, необходимое для эффективного завершения обезвреживания снега и почвы, загрязненных нефтепродуктами, в зависимости от степени загрязнения и вида загрязнителя (моторное масло, дизельное топливо и т. д.).

Проведенные исследования показывают, что технология реагентного капсулирования может быть использована как для обезвреживания почвы, загрязненной бензином, дизельным топливом или моторным маслом, так и загрязненного нефтепродуктами снега. Но при загрязнении в загрязненном снеге нефтепродуктов более 40% массы снега использование технологии реагентного капсулирования для его обезвреживания считается нецелесообразным, и в этом случае необходимо использовать другие способы обезвреживания.

Кроме серии экспериментов по обезвреживанию почвы, загрязненной нефтепродуктами, при обычных условиях проводились эксперименты по уточнению рецептуры обезвреживания почвы и снега, загрязненных нефтепродуктами, с осуществлением принудительной подачи углекислого газа в зону обезвреживания на этапе формирования микрокапсул и образования оболочки из карбоната кальция на поверхности загрязняющего вещества. Капсулированный материал, полученный при обезвреживании снега, загрязненного нефтепродуктами,



Рис. 7. Внешний вид капсулированного материала, полученного в результате обезвреживания снега (слева) и почвы (справа), загрязненных моторным маслом



Рис. 8. Внешний вид капсулированного материала, полученного при обезвреживании почвы, содержащей моторное масло

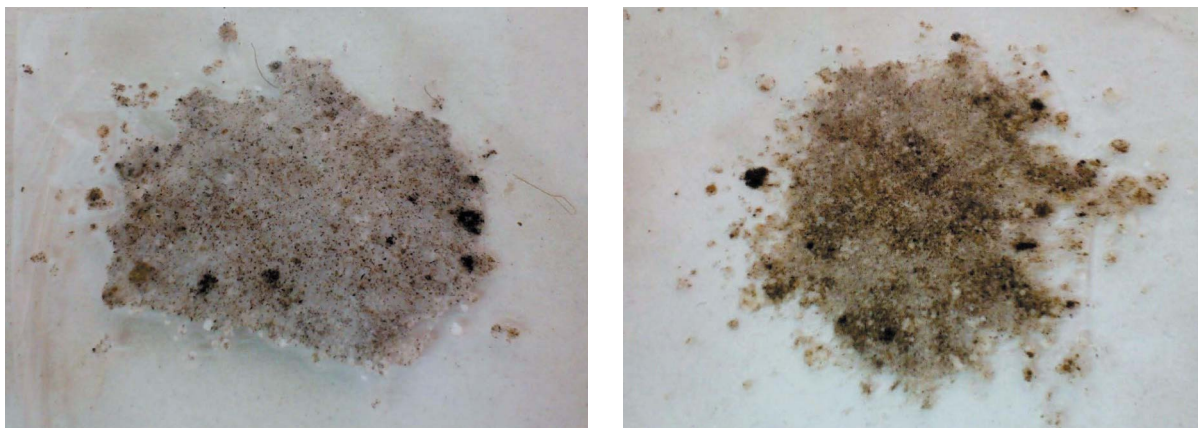


Рис. 9. Результаты эксперимента на сжатие капсулированного материала, полученного в различных условиях

визуально отличался от капсулированного материала, полученного при обезвреживании почвы, загрязненной нефтепродуктами. На рис. 7 слева представлен внешний вид капсулированного материала, полученного в результате обезвреживания загрязненного нефтепродуктами снега, содержащего моторное масло в количестве 50% массы загрязненного снега, справа — загрязненной почвы, содержащей то же количество моторного масла.

Дальнейшие исследования подтвердили, что подача углекислого газа способствует более интенсивному образованию труднорастворимой оболочки из карбоната кальция на поверхности загрязняющего вещества. Сравнивались два одинаковых образца капсулированного материала, полученные при обезвреживании в различных условиях почвы, загрязненной моторным маслом. На рис. 8 слева показан образец капсулированного материала, который

был получен в условиях принудительной подачи углекислого газа в зону обезвреживания на этапе формирования микрокапсул, справа — образец капсулированного материала, изготовленный при обычных условиях. Видно, что капсулированный материал, изготовленный при добавлении углекислого газа, имеет более однородную и мелкую структуру, чем капсулированный материал, образованный при обычных условиях.

На рис. 9 показаны те же образцы капсулированного материала после раздавливания. У образца капсулированного материала, полученного при добавлении углекислого газа на стадии формирования микрокапсул (слева), после раздавливания наблюдается меньший выход нефтепродуктов по сравнению с образцом, полученным при обычных условиях (справа).

Таким образом, принудительная подача углекислого газа в зону обезвреживания на этапе формирования микрокапсул и образования оболочки из карбоната кальция на поверхности загрязняющего вещества позволяет не только значительно ускорить процесс обезвреживания, но и осуществлять его в условиях отрицательной температуры окружающей среды (например, в природно-климатических условиях Арктики).

## Выводы

1. Для оперативного устранения последствий аварийных ситуаций, сопровождающихся разливами нефтепродуктов, в арктических условиях наиболее перспективной является технология реагентного капсулирования.

2. Полученные результаты позволяют определить оптимальное количество реагента, необходимое для эффективного завершения обезвреживания снега, загрязненного моторным маслом, и почвы, загрязненной нефтепродуктами, в зависимости от степени загрязнения и вида загрязнителя (моторное масло, дизельное топливо и т. д.).

3. Использование энергии экзотермического процесса химического обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами, в сочетании с принудительной подачей углекислого газа в зону обезвреживания на этапе образования оболочки из карбоната кальция на поверхности загрязняющего вещества позволит осуществлять в экстремальных природно-климатических условиях Арктики обезвреживание почвы, загрязненной нефтепродуктами, с использованием технологии реагентного капсулирования.

## Литература

1. Лаверов Н. П., Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Фундаментальные аспекты рационального освоения ресурсов нефти и газа Арктики и шельфа России: стратегия, перспективы и проблемы // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 2 (22). — С. 4—13.

2. Махутов Н. А., Гаденин М. М., Лебедев М. П. и др. Особенности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России и пути их парирования на основе концепции риска // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 1 (13). — С. 10—29.
3. Павленко В. И., Муангу Ж., Коробов В. Б., Лохов А. С. Актуальные проблемы предотвращения, ликвидации разливов нефти в Арктике и методы оценки экологического ущерба прибрежным территориям // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 3 (19). — С. 4—11.
4. Патент 157884, Российская Федерация, МПК В09С 1/08. Установка для обезвреживания нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов / Ларионов К. С., Холкин Е. Г., Штриплинг Л. О.; заявитель и патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высшего проф. образования «Омский гос. техн. ун-т». — № 2015130193/13; заявл. 21.07.15; опубл. 20.12.15, Бюл. № 35. — 2 с.
5. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. — Утв. Президентом РФ 20 февраля 2013 г.
6. Шихранов О. Г., Глянцева Ю. С., Ерофеевская Л. А. и др. Способы биоремедиации нефтезагрязненных почв для климатических условий Крайнего Севера и оценка их эффективности // Наука и технологии трубопровод. транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2015. — № 1 (17). — С. 90—97.
7. Штриплинг Л. О., Токарев В. В., Герцберг Ю. М. и др. Переработка и утилизация нефтешламов и нефтезагрязненных материалов, образующихся в местах добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья: Монография / М-во образования и науки РФ, Омский гос. техн. ун-т. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — 176 с.
8. Manzetti S. Remediation technologies for oil-drilling activities in the Arctic: oil-spill containment and remediation in open water // Environmental Technology Rev. — 2014. — Vol. 3, iss. 1. — P. 49—60. — URL: <http://doi:10.1080/21622515.2014.966156>.
9. Shtripling L. O., Kholkin E. G., Larionov K. S. The technology refinement of soil decontamination contaminated with petroleum products by the reagent capsulation method // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 152. — P. 13—17. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.609>.
10. Tomei M. C., Daugulis A. J. Ex Situ Bioremediation of Contaminated Soils: An Overview of Conventional and Innovative Technologies // Critical Rev. in Environmental Science and Technology. — 2013. — Vol. 43, iss. 20. — P. 2107—2139. — URL: <http://doi:10.1080/10643389.2012.672056>.
11. Welander U. Microbial Degradation of Organic Pollutants in Soil in a Cold Climate // Soil and Sediment Contamination: An Intern. J. — 2005. — Vol. 14, iss. 3. — P. 281—291. — URL: <http://doi:10.1080/15320380590928339>.



### Информация об авторах

*Ларионов Кирилл Сергеевич*, аспирант кафедры «Промышленная экология и безопасность», ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644050, Россия, Омск, пр-т Мира, д. 11).

*Холкин Евгений Геннадьевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность», ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644050, Россия, Омск, пр-т Мира, д. 11), e-mail: holkin555@mail.ru.

*Штриплинг Лев Оттович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленная экология и безопасность», ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644050, Россия, Омск, пр-т Мира, д. 11), e-mail: losh59@mail.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

*Холкин Е. Г., Штриплинг Л. О., Ларионов К. С.* Ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в Арктической зоне России с использованием технологии реагентного капсулирования // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 1 (25). — С. 120—129.

---

## THE ELIMINATION OF EMERGENCY OIL SPILLS CONSEQUENCES IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA USING THE REAGENT ENCAPSULATION TECHNOLOGY

Kholkin E. G., Shtripling L. O., Larionov K. S.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Omsk State Technical University" (Omsk, Russian Federation)

### Abstract

Arctic zone of the Russian Federation occupies a large area of the country and it differs from other regions with special climatic conditions. In winter air temperature can be lowered to 70°C below zero in the Arctic, and almost all the territory is located in the permafrost zone. The main potential sources of emergency conditions resulted in oil products used as finished raw materials, fuel and lubricants which will inevitably fall into the soil, are operated machinery and equipment for the hydrocarbons extraction and transportation. Weak self-recovery potential of soils in a short growing season and low temperatures involves the development and use of adapted to arctic conditions technologies for rapid overcoming of accidental oil spills consequences.

We propose adapted to arctic conditions technology for rapid consequences elimination of accidents involving oil spills. Decontamination technology of soils polluted with oil products is based on the encapsulation of the pollutant (reagent encapsulation technology) with an alkaline reagent based on calcium. We used as a reagent powdered building quick lime; it is carbonate rock calcine or a mixture of this product with mineral additives (calcium oxide). The main advantage of the reagent encapsulation technology is decontamination efficiency of contaminated soils compared to traditional technologies of decontamination. One more important factor is low market value of lime as compared to other reagents, biological substances and solvents for the oil products extraction. We describe the basic steps of the reagent encapsulation technology in decontamination of soils contaminated with oil products. If we use exotherm process energy of chemical decontamination of soils contaminated with oil products, in combination with a forced feed of carbon dioxide to decontamination zone; then at the stage of coat formation from calcium carbonate on the surface of the pollutant it allows to complete decontamination of soils contaminated with oil products using the reagent encapsulation technology in extreme Arctic natural climatic conditions. We describe the principle of equipment operation allowing to carry out decontamination of soils contaminated with oil products using reagent encapsulation technology in Arctic climatic conditions.

Encapsulated material obtained as a result of decontamination of soils contaminated with oil products, is resistant to natural and anthropogenic factors, such as moisture, temperature changes, acid rain and high pressure. We present the results of experimental studies for determining the optimal amount of the reagent required for the efficient completion of the decontamination of snow contaminated with motor oil, and soils contaminated with oil products depending on the degree of contamination and the type of pollutant. Our studies confirm that the reagent encapsulation technology showed good performance in severe climatic conditions and they are suitable for decontamination of soils and snow contaminated with gasoline, diesel fuel and engine oil.

**Keywords:** *Arctic, oil spill, soil pollution with oil, soil decontamination, remediation, encapsulation reagent.*

Source of research funding: Omsk State Technical University

## References

1. Laverov N. P., Bogoyavlenskiy V. I., Bogoyavlenskiy I. V. Fundamentalnyye aspekty ratsionalnogo osvoyeniya resursov nefti i gaza Arktiki i shelfa Rossii: strategiya, perspektivy i problemy. [Fundamental aspects of the rational development of oil and gas resources of the Arctic and Russian shelf: strategy, prospects and challenges]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no 2 (22), pp 4—13. (In Russian).
2. Makhutov N. A., Gadenin M. M., Lebedev M. P. et al. Osobennosti vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy v Arkticheskoy zone Rossii i puti ikh parirovaniya na osnove kontseptsii riska. [The features of emergencies in the Arctic zone of Russia and a way to response on the basis of risk concept]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2014, no 1 (13), pp 10—29 (In Russian).
3. Pavlenko V. I., Muangu Zh., Korobov V. B., Lokhov A.S. Aktualnyye problemy predotvrashcheniya likvidatsii razlivov nefti v Arktike i metody otsenki ekologicheskogo ushcherba pribrezhnym territoriyam. [The pressing problems of prevention and removal of oil spills in the Arctic and the methods of assessment of environmental damage to coastal areas]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no 3 (19), pp 4—11. (In Russian).
4. Patent 157884. Rossiyskaya Federatsiya. MPK V09S 1/08. Ustanovka dlya obezvrezhivaniya neftezagryaznennykh pochv. gruntov i nefteshlamov. [Patent 157884, Russian Federation, IPC V09S 1/08. Installation for decontamination of oil-contaminated soils, earth and sludge]. Larionov K. S., Kholkin E. G., Shtripling L. the applicant and the patentee Federal St. Budg. Inst. of Higher Prof. Ed. "Omsk State Tech.Univ-ty". № 2015130193/13, appl. 21.07.15, publ. 20.12.15. Bul. № 35, 2 p. (In Russian).
5. Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsionalnoy bezopasnosti na period do 2020 goda. [The development strategy of the Russian Arctic and national security protection for the period until 2020]. Utv. Prezidentom RF 20 fevralya 2013 g. (In Russian).
6. Shikhranov O. G., Glyaznetsova Yu. S., Erofeyevskaya L. A. et al. Sposoby bioremediatsii neftezagryaznennykh pochv dlya klimaticheskikh usloviy Kraynego Severa i otsenka ikh effektivnosti. [Bioremediation methods of oil-contaminated soils for the Far North climatic conditions and their efficiency assessment]. *Nauka i tekhnologii truboprovod. transporta nefti i nefteproduktov*, 2015, no 1 (17), pp. 90—97. (In Russian).
7. Shtripling L. O., Tokarev V. V., Gerzhberg Yu. M. et al. Pererabotka i utilizatsiya nefteshlamov i neftezagryaznennykh materialov. obrazuyushchikhsya v mestakh dobychi. transportirovki i pererabotki uglevodorodnogo syria. [Processing and recycling of oil sludge and oil-contaminated materials generated in spots of oil extracting, transportation and processing of hydrocarbons]. Monograph, RF Min-ry of Science and Ed-n, Omsk State Tech.Univ-ty. Novosibirsk. Publ. House SB RAS, 2013, 176 p. (In Russian).
8. Manzetti S. Remediation technologies for oil-drilling activities in the Arctic: oil-spill containment and remediation in open water. *Environmental Technology Rev.* 2014, Vol. 3, iss. 1, pp 49—60. URL: <http://doi:10.1080/21622515.2014.966156>.
9. Shtripling L. O., Kholkin E. G., Larionov K. S. The technology refinement of soil decontamination contaminated with petroleum products by the reagent capsulation method. *Procedia Engineering*. 2016, Vol. 152, pp 13—17. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.609>.
10. Tomei M. C., Daugulis A. J. Ex Situ Bioremediation of Contaminated Soils: An Overview of Conventional and Innovative Technologies // *Critical Rev. in Environmental Science and Technology*. 2013, Vol. 43, iss. 20, pp 2107—2139. URL: <http://doi:10.1080/10643389.2012.672056>.
11. Welander U. Microbial Degradation of Organic Pollutants in Soil in a Cold Climate. *Soil and Sediment Contamination: An Intern. J.*, 2005, Vol. 14, iss. 3, pp 281—291. URL: <http://doi:10.1080/15320380590928339>.

---

## Information about the authors

Larionov Kirill Sergeevich, post-graduate student of "Industrial ecology and safety" Chair, Omsk State Technical University (11, Mira pr., Omsk, 644050, Russia).

Kholkin Evgeniy Gennadyevich, PhD (Technology), Associate Professor of "Industrial ecology and safety" Chair, Omsk State Technical University (11, Mira pr., Omsk, 644050, Russia), e-mail: [hokin555@mail.ru](mailto:hokin555@mail.ru).

Shtripling Lev Ottovich, Doctor of Science (Technology), Professor, Professor of "Industrial ecology and safety" Chair, Omsk State Technical University (11, Mira pr., Omsk, 644050, Russia), e-mail: [losh59@mail.ru](mailto:losh59@mail.ru).

## Bibliographic description

Kholkin E. G., Shtripling L. O., Larionov K. S. The elimination of emergency oil spills consequences in the Arctic zone of Russia using the reagent encapsulation technology. *The Arctic: ecology and economy*, 2017, no 1 (25), pp 120—129. (In Russian).