УДК 622.413.4

Ю.В.ШУВАЛОВ
Горный факультет, профессор кафедры экологии, аэрологии и охраны труда
Е.А.ИЛЬИНА
Горный факультет, аспирант кафедры экологии, аэрологии и охраны труда

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВ ЖИДКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ НА ТЕРРИТОРИЯХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В настоящее время проблема нефтяного загрязнения грунтов на территории горных предприятий жидкими углеводородами является одной из самых актуальных. Изложены основные результаты изучения ореолов нефтяного загрязнения на некоторых объектах хранения нефтепродуктов в различных природно-климатических районах Русской плиты. Исследования показали, что для решения различных экологических задач необходим синтез механических и биологических методов санации грунтов и природных вод. Биологические методы заключаются в интродукции в очищаемый грунт углеводородокисляющих микроорганизмов в виде биопрепаратов с дополнительным внесением биогенов. Наиболее рациональные методы санации необходимо внедрять на промышленных предприятиях Севера со сложными геотемпературными условиями. Метод биоремедиации «in situ» является наиболее выгодным с экологической и экономической точек зрения. Построение внутригрунтового биореактора с предварительным растеплением промороженных грунтов основывается на решении термодинамических задач. Получены предварительные оценки радиуса оттаивания грунтов для различных периодов времени (без учета скрытой теплоты фазового перехода).

Now the problem of the petroleum pollution of soil by the liquid petroleum in territory of the mining enterprises is one of the most urgent. In work the basic results of study of auras of petroleum pollution on some objects of a storage of petroleum in various nature-climatic areas of Russian plate are stated. The researches have shown, that the synthesis of the mechanical and biological methods of the remediation of soil and natural waters are necessary for the decision of various ecological tasks. The biological methods consist in introduction in a cleared ground special microorganisms as biopreparations with additional entering of biogenes. The most rational methods of the remediation are necessary for introducing in areas the enterprises of North with difficult geotemperature conditions. The method of the bioremediation «in situ» is most favourable from the ecological and economic point of view. The construction of soil bioreactor with preliminary heating exposed to frost soil is based on the decision of the special thermodynamic tasks. The preliminary results of radius of thawing of grounds for the various periods of time (without the account of the latent heat of phase transition) are received.

Контаминация окружающей среды углеводородами (УВ) и продуктами их переработки занимает одно из первых мест в общем техногенном загрязнении природы в силу все возрастающих масштабов использования нефти и нефтепродуктов (НП), которые представляют собой комплексные токсиканты и по составу, и по видам биологической активности [2, 3]. В связи с этим остро возникают следующие геоэкологические проблемы:

- изменение химического баланса в зоне аэрации;
- формирование гидро-, лито-, био- и атмохимических ореолов нефтяного загрязнения, связанных с подвижностью НП;
- загрязнение почв и грунтов различными УВ на территориях промышленных предприятий.

Сложность и разнообразие этих проблем требует постановки специальных по-

левых и экспериментальных работ, моделирования геоэкологических процессов, решения прогнозных задач и соответствующего методического обеспечения.

По характеру воздействия на окружающую среду можно выделить три группы очагов нефтяного загрязнения: 1) районы эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; 2) районы транспортировки УВ; 3) районы промышленных предприятий (районы переработки, хранения и эксплуатации нефтепродуктов).

Особенности загрязнения природных вод и грунтов изучались на конкретных примерах в районах хранения НП. Исследования проводились в разных ландшафтно-геологических условиях Русской плиты на трех объектах городов Котлас, Псков и Тольятти. На данных объектах в течение нескольких десятков лет эксплуатировались склады горючесмазочных материалов (ГСМ), где основными поллютантами являются авиационный керосин и бензин. Общими для рассматриваемых объектов являются следующие процессы:

1. Формирование устойчивого углеводородного загрязнения на обширных площадях на глубину до 10 м и более, приводящего к загрязнению почвы, пород зоны аэрации, образованию на поверхности грунтовых вод плавающих линз НП и загрязнению самих грунтовых вод нефтепродуктами.

2. Активное взаимодействие разных типов загрязнения природной среды, вызванных сорбированием НП в почвенном слое и зоне аэрации, просачиванием газового ореола загрязнения и специфической микрофлорой.

3. Расширение и углубление зоны техногенного воздействия на природную среду в процессе эксплуатации складов ГСМ, которые могут привести к тяжелым и, возможно, необратимым экологическим последствиям.

Основные экологические мероприятия должны быть направлены на ликвидацию очагов нефтяного загрязнения и снижение техногенной нагрузки на почву и горный массив. Первым шагом на пути решения практических задач стала разработка нового вида скиммеров для извлечения жидких углеводородов из флюидоносного горизонта.

Для борьбы с нефтяным загрязнением на указанных объектах применялись различные виды биотехнологий, которые наиболее эффективны для очистки почв и поверхностных вод. В основе применяемых биотехнологий лежит интродукция в очищаемый грунт углеводородокисляющих микроорганизмов, например, в виде биопрепарата «Сойлекс», разработанного ЗАО «Полиинформ» (Санкт-Петербург, Россия). Помимо биопрепарата необходимо и внесение биогенов (натрия, калия, фосфора и др.). В Котласе эффект очистки составил 70 % и за 2 года позволил удалить несколько тонн НП.

В настоящее время особое внимание следует уделять территориям промышленных предприятий Севера страны (например, «Воркутауголь» и «Ленинградсланец»), на которых необходимо внедрять наиболее рациональные способы санации грунтов в связи со сложными природно-климатическими условиями. Одним из основных способов может быть биоремедиация «in situ» непосредственно на месте контаминации, т.е. без выемки грунта. Этот способ наиболее выгоден с экологической и экономической точек зрения, так как не требует дополнительных затрат на вывоз загрязненного грунта, установку очистных сооружений, отстойников, коллекторов и др. Данный способ основывается на построении так называемого «внутригрунтового биореактора» под существующими производственными установками, автозаправочными станциями или путями сообщения (см. рисунок). Он представляет собой некий объем грунта, находящийся между фильтровальными трубами, расположенными на двух уровнях в горизонтально-направленных скважинах. Посредством этих труб осуществляется аэрация (кислородом или воздухом) почвенно-грунтового горизонта, стимулирующая жизнедеятельность микроорганизмов, способных разлагать УВ до простых соединений, таких как CO_2, H_2O, N_2 и др. Внесение в грунт биогенов повышает эффективность процесса. В промороженных грунтах необ-

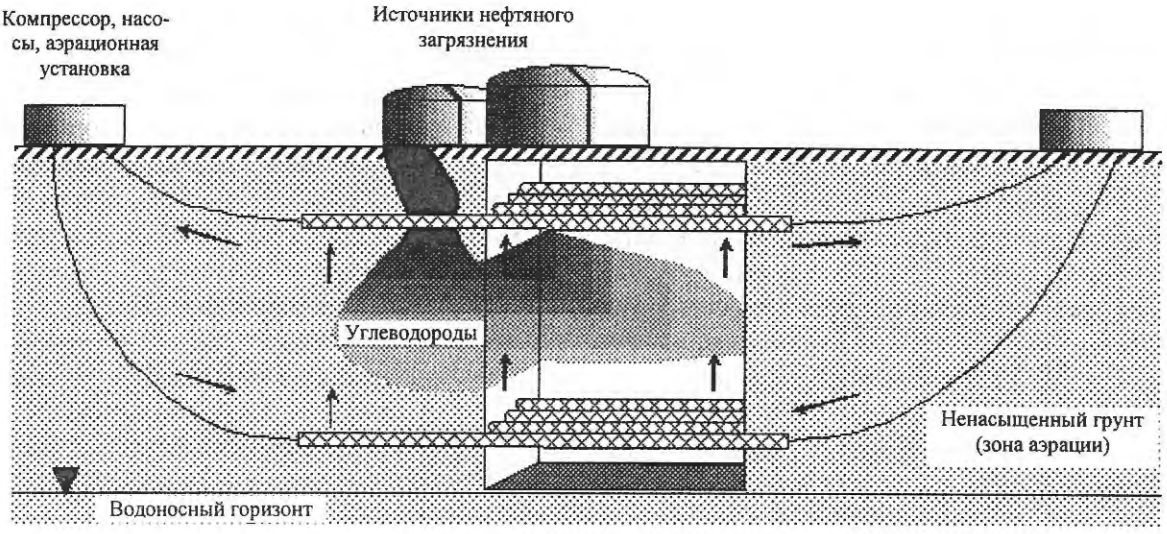


Схема внутригрунтового биореактора

ходимо предварительное их растепление (подачей горячей воды в горизонтальные скважины) с целью создания оптимальных условий для нормальной жизнедеятельности бактерий. Особое внимание следует уделять особенностям растворения, сорбции и миграции воздуха, воды и НП в прискважинной зоне и подбирать наиболее приемлемый математический аппарат для их оценки.

Следует отметить, что физическая модель очага нефтяного загрязнения позволяет выявить закономерности изменения физико-химических свойств грунтов при бактериальном способе санации и установить критериальные зависимости эффективности процессов от способа воздействия на породы.

Для объекта в г.Сланцы характерно наличие в его геологическом строении, помимо песчано-глинистых пород, еще и торфяных прослоев, играющих роль естественного физико-химического барьера на пути движения ореола загрязнения к нижележащим горизонтам. Здесь глубина сезонно-талого слоя и гелиотермозоны (рассчитана с помощью компьютерной программы «Termo» С.Г.Гендлера) такова, что можно исключить этап предварительного растепления грунтов, без чего не обойтись на объекте г.Воркуты, где мощность зоны активного физического (морозного) выветривания и нефтяного загрязнения углеводородами, проникающими с поверхности, составляет около 14 м. Ниже располагаются породы, служащие экраном и препятствующие дальнейшему продвижению углеводородов. Для предварительного растепления промороженных грунтов можно использовать скважины, предназначенные для аэрации. Положение талой зоны, а также время начала замерзания жидкости определяется при решении задачи «о промерзании жидкости при ее движении по трубе» в следующей постановке:

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau}+U\frac{\partial\theta}{\partial x}=a_{ж}\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta}{\partial r}\right);$$

$$0<r<R;\ \theta=\frac{T-T_0}{T_e-T_0},$$

где U – скорость движения жидкости; T_0 – температура жидкости на входе в трубу; T_e – начальная температура окружающего массива; $a_ж$ – температуропроводность жидкости.

Для аналитических расчетов растепления грунтов можно использовать задачу «о прогреве подземного трубопровода», либо термодинамическую задачу в постановке [1, 4]. В промороженном горном массиве располагается система из нескольких уровней горизонтальных скважин, по которым идет постоянная циркуляция теплой воды. Для расчета радиуса зоны оттаивания горных пород вокруг каждой скважины за различные периоды времени приняты следую-

щие параметры: диаметр труб 0,1 м, скорость движения жидкости $U = 0{,}1$ м/с; температура жидкости на входе $t = 25$ °С, начальная температура окружающего массива $T_e = -5$ °С, температура фазового перехода $T_ф = 0$ °С. Задача о восстановлении температурного поля на поверхности теплообмена для цилиндрического канала (в данном случае скважины) решается при граничных условиях первого рода. Для определения радиуса зоны оттаивания (фазового перехода) по номограммам для безразмерной температуры ε и критерия Фурье F_0 определяется величина безразмерного радиуса:

$$\varepsilon = \frac{T_e - T}{T_e - t};\ F_0 = \frac{a\tau}{R_0};\ R = \frac{R_ф}{R_0},$$

где a – температуропроводность вещества.

Предварительные расчеты показали, что за время $\tau = 10$ сут радиус оттаивания составляет около 1 м, за 50 сут – 1,5 м, 100 сут – 2 м. Однако если учесть скрытую теплоту фазового перехода, эти значения снизятся в 1,5-2 раза в зависимости от льдистости промороженных грунтов.

Для экономии тепла трубы на поверхности можно соединить в единый цикл. Следующим шагом санации будет аэрирование оттаявшего почвенно-грунтового горизонта через эти же пластиковые перфорированные трубы. Через скважины нижнего уровня будет осуществляться подача воздуха, а через скважины верхнего – его откачка вместе с легкими углеводородами в газовой фазе.

Все вышесказанное свидетельствует о сложности и разнообразии задач санации грунтов от загрязнения углеводородами и необходимости комплексирования различных методов их изучения и очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кутателадзе С.С.* Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990.

2. *Мироненко В.А.* Загрязнение подземных вод углеводородами / В.А.Мироненко, Н.С.Петров // Геоэкология. 1995. № 1.

3. Очистка окружающей среды от углеводородных загрязнений. М.: Интербук, 1999.

4. *Шувалов Ю.В.* Опыт тепловой защиты горных выработок в сложных геотермических и климатических условиях / Ю.В.Шувалов, В.Н.Хуцишвили, В.Г.Петрусь // Колыма. 1984. № 12.