



УДК [504.064]:543

## ТОПЛИВНЫЕ ЛИНЗЫ И СПОСОБ ИХ ОКОНТУРИВАНИЯ

### FUEL LENSES AND METHOD OF THEIR CONTOURING

**Кочетова Жанна Юрьевна**

кандидат химических наук, доцент,  
доцент кафедры физики и химии,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

**Внукова Светлана Владимировна**

кандидат физико-математических наук,  
старший преподаватель кафедры физики и химии,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

**Базарский Олег Владимирович**

доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры физики и химии,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
zk\_vva@mail.ru

**Аннотация.** Миграция нефтяных углеводородов в грунтах зоны аэрации приводит к образованию линз. При фильтрации углеводородов в обводненную грунтовую толщу формируется ореол загрязнения, значительно превышающий исходный объем поступающих загрязнителей. В настоящее время существуют проблемы по реальной оценке масштабов загрязнения и оконтуривания топливных линз. Для быстрой оценки концентрации нефтепродуктов в почвах на различной глубине предложен датчик бензина, работающий по принципу пьезокварцевого микровзвешивания.

**Ключевые слова:** топливная линза, бензин, загрязнение, грунты, оконтуривание, пьезокварцевое микровзвешивание.

**Kochetova Zhanna Jurievna**

PhD, Associate Professor  
of physics and chemistry,  
Military educational  
and scientific center air force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Air Force Academy»

**Vnukova Svetlana Vladimirovna**

PhD, Senior lecturer of physics  
and chemistry,  
Military educational  
and scientific center air force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Air Force Academy»

**Bazarsky Oleg Vladimirovich**

Doctor of Sc., Professor,  
Professor of physics and chemistry,  
Military educational  
and scientific center air force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Air Force Academy»  
zk\_vva@mail.ru

**Annotation.** Migration of petroleum hydrocarbons in the soils of the aeration zone leads to the formation of fuel lenses. When hydrocarbons are filtered into the watered soil, an aura of pollution is formed, which significantly exceeds the initial volume of incoming pollutants. Currently, there are problems in the real assessment of the scale of pollution and contouring of fuel lenses. To quickly assess the concentration of petroleum products in soils at different depths, a gasoline sensor operating on the principle of piezo-quartz microweighing is proposed.

**Keywords:** oil products lens, gasoline, pollution, soils, lens contour, piezoquartz microweighing.

Увеличение количества транспорта, автозаправочных станций, нефтеперерабатывающих заводов, баз хранения топлива негативно отражается на окружающей среде. Нефтепродукты при аварийных разливах, а также в штатном режиме работы предприятий и нефтепродуктопроводов из-за испарения и смыва дождевой водой, попадают в почвы и грунты. В результате фильтрации нефтепродуктов образуются топливные линзы, которые представляют собой концентрированную смесь углеводородов с низкой плотностью в локальной зоне углеводородного насыщения грунтов, расположенной над грунтовыми водами. Топливные линзы легче образуются в грунтах с невысокой водопроницаемостью. Их мощность зависит в первую очередь от гидрогеологических условий, длительности и интенсивности поступления нефтяных загрязнителей. Она может изменяться от нескольких см до нескольких метров, причем максимальные значения сосредоточены в центре линзы и убывают к ее краям. Площадь линз может достигать сотен гектаров [1]. Известно несколько схем миграции нефтеуглеводородов в подземных водах, отличающихся количеством выделяемых зон, в которых углеводороды находятся в различном фазовом состоянии [2]. На рисунке 1 представлена наиболее распространенная схема, предложенная профессором Б.В. Боровским в 1997 г., с пятью зонами скопления углеводородов. Особенности распределения углеводородов по зонам во многом зависят от строения и свойств грунтов зоны аэрации.

При повышении уровня грунтовых вод происходит их взаимодействие с грунтовой толщей зоны аэрации, что может вызвать первичное или дополнительное загрязнение нефтяными веществами



различных форм грунтовых вод. В случае уже существующего загрязнения грунтовых вод может происходить увеличение степени поражения зоны аэрации, в том числе с выходом на поверхность нефтеуглеводородов в местах с пониженным рельефом (подвалы, подземные инженерные коммуникации, естественные понижения рельефа). При понижении уровня грунтовых вод часть углеводородов в различных формах удерживается в грунтах под действием химических и физико-химических процессов, что приводит к формированию вторичного источника загрязнения вод.



Рисунок 1 – Схема распределения форм нефтяных углеводородов при их фильтрации в грунте

При изучении распределения углеводородов, нельзя не отметить и высокую роль биодegradации в трансформации углеводородов, которая идет в основном в растворимой фазе, в том числе сорбированной на углеродном скелете. Таким образом, высокая динамичность образующихся топливных линз, зависящая от многих параметров, затрудняет прогнозную оценку ее геометрии и масштабов. Основным источником информации о подземных скоплениях углеводородов являются скважины. Однако, и эта информация зачастую оказывается искаженной, что при бурении скважин в пределах насыщенной зоны может быть связано с нисходящими перетоками по скважинам жидких скоплений углеводородов. Наиболее полезные данные получают в процессе бурения скважин и одновременном отборе образцов грунтов и флюидов.

Пробы грунта анализируют в специализированных лабораториях с применением дорогостоящего оборудования (спектрометры, хроматографы), позволяющего не только количественно определять содержание углеводородов в каждом исследуемом пласте грунта, но и устанавливать их качественный состав. При рутинном геоэкологическом мониторинге большого числа проб такой подход считается не целесообразным и не оправданным по своим затратам. Более перспективны в этом плане методы скважинной геофизики, в том числе, измерение диэлектрической проницаемости нефтезагрязненных почв, сенсорные методы анализа [1–3].

Для оконтуривания линзы, сформировавшейся на территории предприятия «Красное Знамя» (г. Воронеж), был разработан датчик бензина на основе пьезокварцевого резонатора, модифицированного углеродными нанотрубками [3]. Принцип действия датчика основан на явлении обратного пьезоэффекта: изменение собственной частоты колебаний пьезокварцевой пластины АТ-среза при экспонировании ее в парах определяемого компонента обратно пропорционально массе адсорбированного компонента на пленочном сорбционном покрытии пластины:

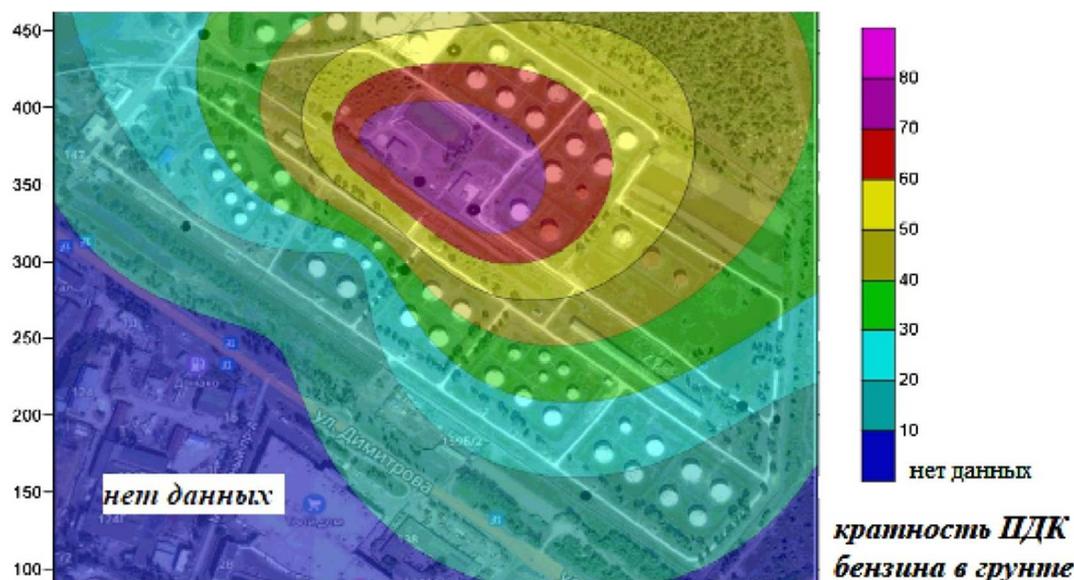
$$\Delta F = - K \cdot m,$$

где  $\Delta F$  – изменение частоты колебаний пьезокварцевой пластины (Гц);  $K$  – константа, зависящая от заводских параметров пьезокварцевого резонатора (собственная частота колебаний пластины, ее диаметр, материал изготовления электродов и др.),  $m$  – масса адсорбата.

Для повышения селективности датчика на тензочувствительную область пластины наносят тонкий слой сорбционного покрытия, проявляющего сорбционное сродство к определяемому компоненту или группе родственных соединений. Для определения углеводородов в различных объектах среды нами ранее было предложено использовать многослойные углеродные нанотрубки – универсальный сорбент с разветвленной поверхностью, характеризующийся высокой сорбционной емкостью к углеводородам, устойчивостью к агрессивным парам нефтяного топлива и хорошими десорбционными свойствами в естественных условиях (без нагревания и продувания воздухом) [3]. Для определения концентрации бензина в грунтах предварительно в лабораторных условиях построен градуировочный график, описываемый зависимостью:  $\Delta F = 162,5C - 180$  ( $C$  – концентрация бензина в грунте).



Предприятие хранения нефтепродуктов работает с 1938 г. Железнодорожная эстакада введена в действие в 1951 г. Загрязнению бензином подвержены почвы и грунты зоны аэрации, грунтовые воды четвертичного водоносного горизонта. С помощью датчика в полевых условиях было установлено, что концентрация бензина в грунтах в наблюдательных скважинах превышает предельно допустимую в десятки раз. Главным очагом загрязнения является линза условно чистого нефтепродукта (ядро) на участке сливо-наливной эстакады, где нормативы по содержанию бензина в грунте на глубине 9–12 м превышены в 75–80 раз. Результаты исследования представлены на рисунке 2; в пограничных случаях они совпадают с результатами, полученными в 2000-ом г. Бокаревым Д.В. в лабораторных условиях [4].



**Рисунок 2** – Карта загрязнения грунтов бензином на территории предприятия «Красное знамя»

По результатам экспресс-мониторинга содержания бензина в грунтах на предельной глубине скважин в полевых условиях с применением разработанного датчика построена карта загрязнения в программе Surfer. Геометрия изолиний максимального загрязнения грунтов ( $\approx 80$  ПДК) позволяет оценить масштабы ядра линзы, ее площадь. Систематический мониторинг загрязнения грунтов с применением экономичного датчика позволит изучать динамику изменения геоэкологической ситуации и своевременно предотвращать развитие чрезвычайной ситуации.

#### Литература:

1. Кочетова Ж.Ю., Бзарский О.В., Маслова Н.В. Мониторинг содержания нефтепродуктов и азота в грунтах экологически опасного объекта и прилегающих к нему территорий // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 10. – С. 83–89.
2. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Издательство Московского университета, 1995. – 272 с.
3. Кочетова Ж.Ю., Кучменко Т.А., Базарский О.В. Экспресс-оценка загрязнения грунтов керосином по сигналам пьезосенсора на основе многослойных углеродных нанотрубок // Вестник Московского университета. – 2017. – Серия 2: Химия. – Т. 58. – № 1. – С. 28–35.
4. Бокарев Д.В. Экологические проблемы загрязнения урбазосистем нефтепродуктами (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2000. – Вып. 5 (10). – С. 232–234.

#### References:

1. Kochetova Zh.Yu., Barsky O.V., Maslova N.V. Monitoring the content of oil and nitrogen in soils to environmentally hazardous facilities and the adjacent territories // The Successes of modern science. – 2017. – № 10. – P. 83–89.
2. Korolev V.A. Monitoring of geological environment. – M.: Publishing house of Moscow University, 1995. – 272 p.
3. Kochetova Zh.Yu., Kuchmenko T.A., Bazarsky O.V. The rapid assessment of pollution of soils with kerosene signals piezosensor based on multi-walled carbon nanotubes // Bulletin of Moscow University. Chemistry. – 2017. – Vol. 58. – № 1. – P. 28–35.
4. Bokarev D.V. Ecological problems of pollution of urban ecosystems by oil products (on the example of Voronezh) // Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geology. – 2000. – Vol. 5 (10). – P. 232–234.