

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-4-158-168

УДК 502.13

А.М. Сафаров, Л.Р. Акчурина, Р.А. Хурамшина, Д.Д. Мунирова, Г.М. Кузнецова,  
А.Х. Сафаров (Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация)

## ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОТОКОВ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ

Airat M. Safarov, Liliya R. Akchurina, Regina A. Khuramshina, Daria D. Munirova,  
Gulnara M. Kyznetsova, Albert Kh. Safarov (Ufa State Petroleum Technological  
University, Ufa, Russian Federation)

## PROCESSES OF FORMATION AND DISTRIBUTION OF PETROLEUM HYDROCARBONS TECHNOGENIC FLOWS IN NATURAL ENVIRONMENT

### **Введение**

Статья посвящена актуальной проблеме мониторинга состояния природных сред на территориях, подвергшихся влиянию нефтяной промышленности.

### **Цели и задачи**

Исследование процессов распространения в подземных горизонтах вторичных техногенных потоков нефтяных углеводородов на территориях, подвергшихся влиянию нефтехимических предприятий. В качестве объекта для исследования было выбрано левобережье реки Белая в районе промышленного узла г. Уфы (Республика Башкортостан), где в результате длительного техногенного воздействия почвенному покрову, поверхностным и подземным водам был нанесен значительный экологический ущерб.

### **Background**

The article is devoted to the urgent problem of natural environments state monitoring in territories affected by the oil industry.

### **Aims and Objectives**

The study of the distribution processes in the underground horizons of secondary technogenic flows of oil hydrocarbons in territories affected by petrochemical enterprises. As an object for research, we chose the left bank of the Belaya River in the region of the industrial hub of Ufa (Republic of Bashkortostan), where as a result of prolonged technogenic impact on the soil cover, surface and groundwater, significant environmental damage was caused.

### Методы

Послойное исследование почвенного профиля на левобережье реки было проведено путем закладки трех разрезов до глубины залегания грунтовых вод на различном удалении от источника загрязнения, в центре изучаемой территории.

### Результаты

Проведенные исследования свидетельствуют о значительном распространении в подземных горизонтах вторичных техногенных потоков нефтяных углеводородов. Образующиеся скопления представляют собой линзы нефтепродуктов, а также пленку на поверхности грунтовых вод. Установлено, что в процессе внутрипочвенной миграции техногенного нефтяного потока к реке происходит снижение относительного содержания более лёгких компонентов. Наибольшая потеря легких нефтяных углеводородов отмечается при переходе техногенного потока из водной среды с ламинарными условиями (подземный сток) в реку с турбулентным характером течения. Также с уверенностью можно предположить, что одним из важных и значимых факторов формирования объектов накопленного экологического ущерба будет низкая скорость самоочищения депонирующих компонентов природной среды. Таким образом, учитывая масштабы нефтяных скоплений на участке левобережья реки Белая, является достаточно целесообразной разработка технологии извлечения нефтяных углеводородов с последующей их переработкой в товарный продукт.

### Methods

A layered study of the soil profile on the left bank of the river was carried out by laying three sections to the depth of groundwater at different distances from the pollution source, in the center of the study area.

### Results

Studies have shown a significant distribution in the underground horizons of secondary technogenic flows of petroleum hydrocarbons. The resulting clusters are oil product lenses, as well as a film on the surface of groundwater. It has been established that in the process of intra-soil migration of anthropogenic oil flow to the river, the relative content of lighter components decreases. The greatest loss of light petroleum hydrocarbons is observed during the transition of anthropogenic flow from an aqueous medium with laminar conditions (underground flow) into a river with a turbulent flow pattern. It is also safe to assume that one of the important and significant factors in the formation of objects of accumulated environmental damage will be the low rate of self-cleaning of the depositing components of the natural environment. Thus, taking into consideration the scale of oil accumulations on the left bank of the Belaya River, it is quite appropriate to develop a technology for the extraction of petroleum hydrocarbons with their subsequent processing into a marketable product.

---

**Ключевые слова:** нефтяные углеводороды; миграция; подземные воды; техногенные потоки; загрязнение

**Key words:** petroleum hydrocarbons; migration; groundwater; technogenic flows; pollution

---

### *Введение*

На сегодняшний день с развитием нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности проблема загрязнения окружающей природной среды нефтью и нефтепродуктами становится актуальной проблемой [1, 2].

Специфическим источником загрязнения природной среды в зонах воздействия

предприятий нефтяной промышленности являются подземные скопления нефтепродуктов.

Попадая на почву, нефтяные углеводороды (УВ) мигрируют в грунтах зоны аэрации в виде первичных и вторичных потоков, скапливаясь в антиклинальных углеводородных ловушках, и в конечном итоге разгружаются в близлежащие водные объекты, становясь источниками вторичного загрязнения [3, 4].

Такой источник загрязнения отличается от традиционных неопределенностью локализации в пространстве, появления во времени, отсутствием внешних проявлений до момента поступления нефтепродуктов из подземных горизонтов в водный объект или на дневную поверхность [5]. Для оценки поведения нефтепродуктов в природных средах необходимо знать не только источники их поступления, но и понимать закономерности миграции и перераспределения УВ, в том числе депонирования в сопряженных компонентах природной среды.

Так, на начальном этапе поступления нефтепродуктов в почву происходит их радиальное просачивание до первого от поверхности водоносного горизонта под действием гравитационных сил. Скорость и глубина проникновения зависят от массы излившегося нефтепродукта, сорбционных свойств грунтов, толщины слоя грунта от дневной поверхности до уровня грунтовых вод и других факторов [6-8]. Важным показателем, определяющим динамику радиальной миграции

нефтепродуктов в литосфере, является нефтеемкость грунтов, которая зависит от их сорбционных свойств, гранулометрического состава и влажности.

Если объем нефтяных УВ, поступивших в грунты в результате утечек, превышает объем (массу) полной нефтенасыщенности грунта и утечки продолжают длительное время, то УВ, радиально просачиваясь до уровня грунтовых вод, растекаются по поверхности водяного пласта, образуя углеводородную пленку. Пленка УВ латерально мигрирует с потоком подземных вод до разгрузки в поверхностный водоток или на дневную поверхность. При попадании в антиклинальную нефтяную ловушку нефтепродукты скапливаются, образуя со временем «плавающую линзу». При сезонном понижении или повышении уровня подземных вод слой углеводородов загрязняет грунты. В целом техногенный поток движется в сторону разгрузки, расширяя область загрязнения подземных вод, и поступает в поверхностные водные объекты (рисунок 1).

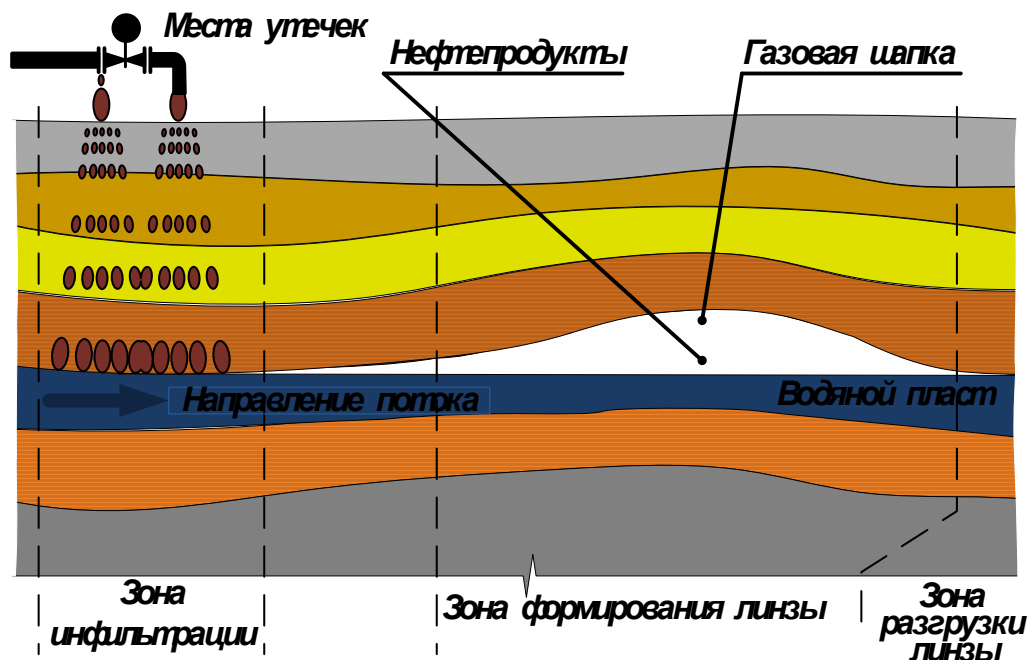


Рисунок 1. Схема загрязнения верхнего безнапорного горизонта грунтовых вод

Скопившиеся в грунтах нефтепродукты относятся к объектам накопленного экологического ущерба (НЭУ) по следующим критериям: масштабности загрязнения, наличию условий расширения масштабов загрязнения при миграции нефтепродуктов с подземными водами, токсичности продуктов в составе объекта НЭУ, а также по чрезвычайно низкой скорости самоочищения грунтов от нефтепродуктов.

*Целью проведенной работы* было исследование процессов распространения в подземных горизонтах вторичных техногенных потоков нефтяных УВ на территориях, подвергшихся влиянию нефтехимических предприятий. В качестве объекта для исследования было выбрано левобережье реки Белая в районе промышленного узла г. Уфы (Республика Башкортостан), где в результате длительного техногенного воздействия почвенному покрову, поверхностным и подземным водам был нанесен значительный экологический ущерб.

*Материалы и методы*

Послойное исследование почвенного профиля на левобережье реки было прове-

дено путем закладки трех разрезов до глубины залегания грунтовых вод на различном удалении от источника загрязнения, в центре изучаемой территории. Грунты обследуемой территории образованы среднесуглинистым, суглинистым и песчано-гравийным слоями (таблица 1).

*Результаты и их обсуждение*

Содержание нефтепродуктов в верхних суглинистых слоях почвы значительно меньше, чем в нижних более легких грунтах (таблица 2).

На глубине более 4 м на границе залегания грунтовых вод вскрыты скопления жидких нефтяных УВ, которые при определённых гидрогеологических условиях, увлекаемые грунтовыми водами, движутся в направлении реки по каналам миграции в грунтах с лёгким гранулометрическим составом (на глубине более 3,0 м). Высокое содержание нефтепродуктов (24,6-187 г/кг) над слоем нефтяных УВ (на глубине от 2,5 до 4,0 м) обусловлено сезонными колебаниями уровня грунтовых вод, при которых пленка нефтяных УВ на поверхности воды при подъеме и понижении загрязняет сопредельные грунты.

**Таблица 1.** Характеристика почвенного профиля и подстилающих грунтов

Грунты	Глубина, см	Разрез В	Разрез С	Разрез D
Почва	0-20	средне-суглинистый	средне-суглинистый	средне-суглинистый
	20-50	средне-суглинистый	средне-суглинистый	средне-суглинистый
	50-100	средне-суглинистый	средне-суглинистый	средне-суглинистый
Верхнечетвертичные аллювиальные отложения	100-150	суглинок	суглинок	суглинок
	150-200	суглинок	суглинок	суглинок
	250-300	суглинок	суглинок	суглинок
	300-350	суглинок	гравийный грунт с песчаным заполнителем	суглинок
	350-400	суглинок	гравийный грунт с песчаным заполнителем	суглинок
	> 400	гравийный грунт с песчаным заполнителем	гравийный грунт с песчаным заполнителем	гравийный грунт с песчаным заполнителем

В верхнем слое почвы (0-100 см) содержание нефтепродуктов находится в пределах допустимого уровня загрязнения ( $\leq 1,0$  г/кг). Некоторое повышение содержания нефтепродуктов с глубиной (от 1,0 до 2,0 м) может объясняться наличием газовой шапки над подземными скоплениями нефтяных УВ. Состав одной из «газовых шапок» представлен в таблице 3.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что масса поступившей нефти больше массы, поглощенной грунтом при полном насыщении, с последующей латеральной миграцией в сторону реки Белая. Допол-

нительным аргументом в пользу такого механизма служит высокое содержание легких УВ в пробах, отобранных на глубине ~ 4 м.

Хроматографическое исследование проб жидких нефтяных УВ, отобранных со дна шурфов, заложенных на различном удалении от промплощадки нефтехимического предприятия, показало их значительное отличие друг от друга.

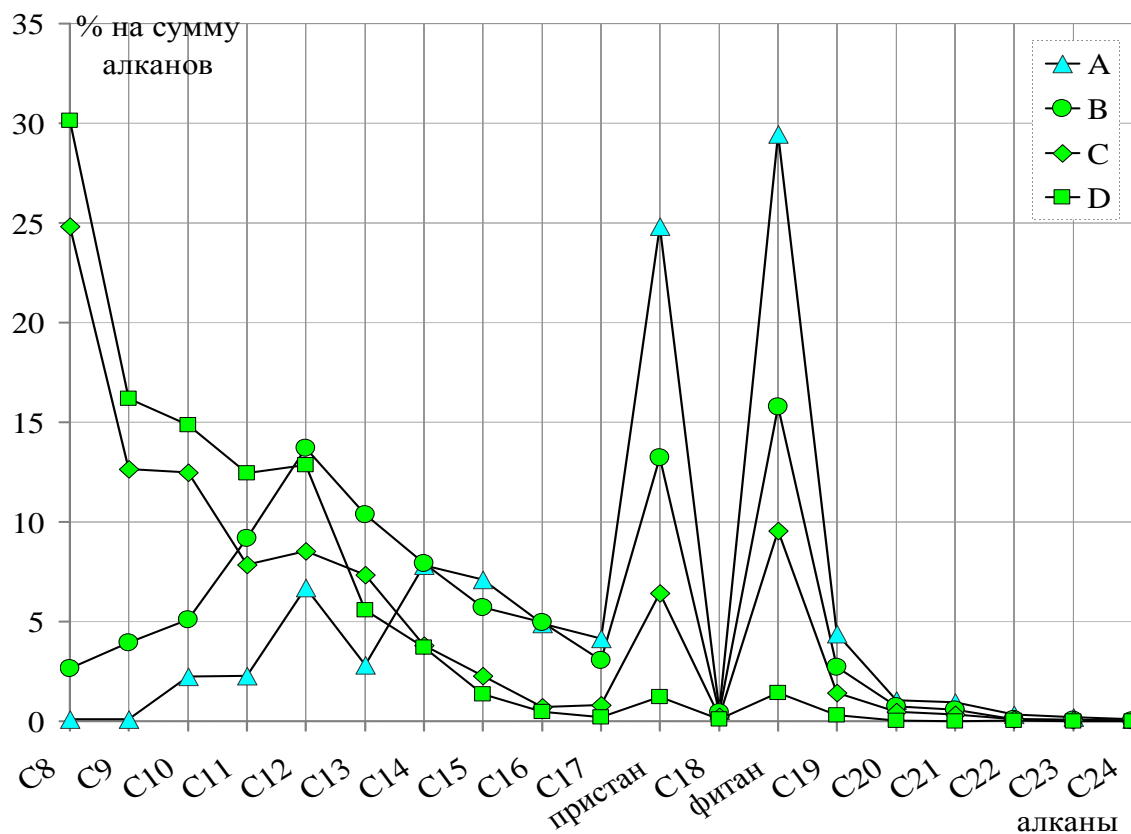
Изменение соотношения УВ при внутрипочвенной латеральной миграции потока нефтепродуктов с последующей разгрузкой в реку Белая описывается кривыми, представленными на рисунке 2.

**Таблица 2.** Содержание нефтепродуктов в подстиляющих грунтах

Глубина отбора пробы, см	Содержание нефтепродуктов, г/кг		
	Разрез В	Разрез С	Разрез D
0-20	0,14	0,09	< 0,05
20-50	0,06	0,06	< 0,05
50-100	< 0,05	< 0,05	< 0,05
100-150	0,30	0,20	0,20
150-200	1,70	1,40	0,50
250-300	24,60	32,50	1,40
300-350	74,10	65,00	36,00
350-400	121,00	187,00	176,00
> 400	выход жидких нефтяных углеводородов		

**Таблица 3.** Состав газовой шапки, обнаруженной над подземным скоплением нефтепродуктов

Наименование определяемого компонента	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>
Метан	11034,71
изо-Бутан	363,74
Бутилен	1035,68
изо-Пентан	26581,24
Пентан	11402,70
Пропен	44,96
Бутан	9071,77
Пропан	149,03
Бензол	658,73
Этилбензол	10,87
о-Ксилол	33,47
Стирол	12,90
Толуол	628,79
м(п)-Ксилолы	68,78



пробы нефтяных УВ, отобранных:  
 А - на поверхности воды в реке на участке подрусловой разгрузки (плёнка);  
 В, С и D - из технологических шурфов

*Примечание: здесь и далее за 100 % принято суммарное содержание n-алканов (C<sub>8</sub>-C<sub>24</sub>), пристана и фитана*

**Рисунок 2.** Процентное соотношение n-алканов C<sub>8</sub>-C<sub>24</sub> и изопренанов в пробах нефтяных УВ

Из анализа рисунка 2 видно, что по мере удаления от источника загрязнения (предприятия) в пробах нефтяных УВ, отобранных из шурфов (кривые В, С и D), наблюдается существенное снижение суммарной доли n-алканов и повышение относительного содержания пристана (C<sub>19</sub>H<sub>40</sub>) и фитана (C<sub>20</sub>H<sub>42</sub>).

Максимальное значение для изопренанов обнаружено в пробе углеводородной плёнки, отобранной с поверхности воды реки Белая после подрусловой разгрузки техногенного потока (кривая А).

Таким образом, в процессе внутрипочвенной миграции техногенного нефтяного потока к реке происходит уменьшение относительного содержания более лёгких компонентов. Наибольшее сокращение легких нефтяных УВ отмечено при переходе техногенного потока из водной среды с ламинарными условиями (подземный сток) в реку с турбулентным характером течения.

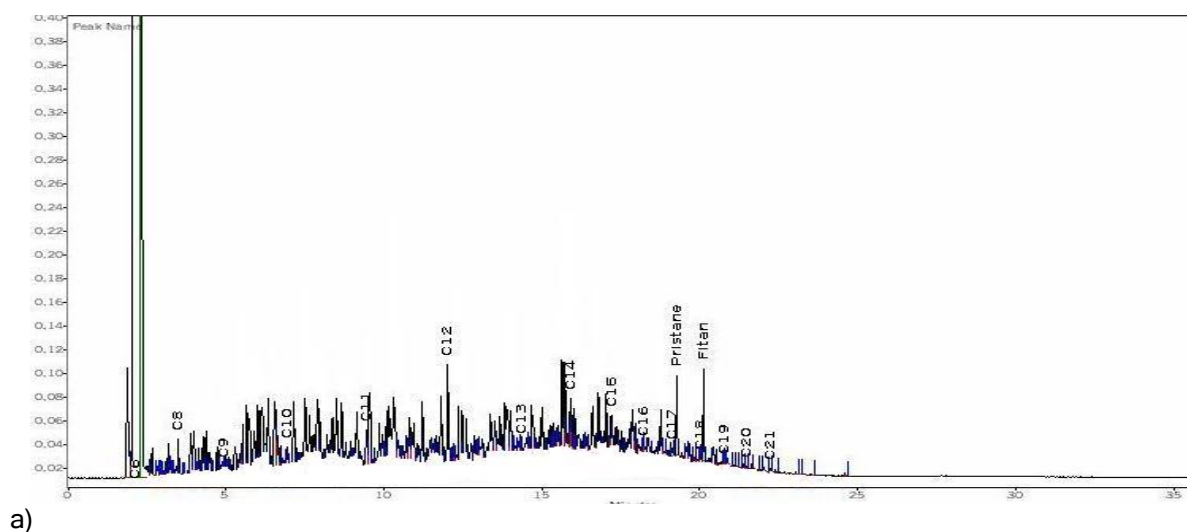
Высокое относительное содержание лёгких УВ в пробе, отобранной на дне шурфа в точке В на берегу реки, говорит о том, что

условия в почвенном профиле обеспечивают их длительное сохранение [9]. Углеводородная плёнка на поверхности воды на участке «разгрузки» подземного стока (точка А) полностью лишена легких компонентов.

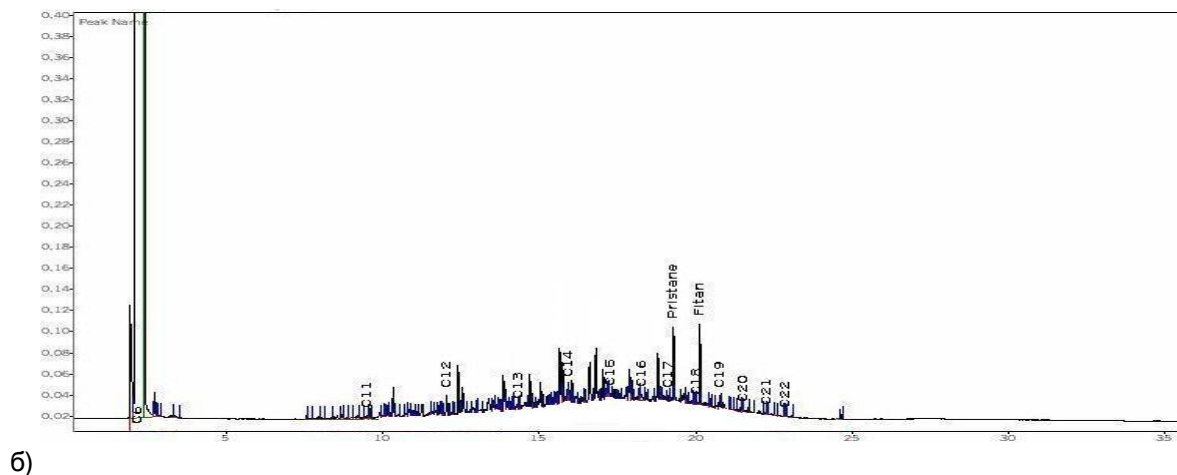
Хроматограммы этих двух образцов приведены на рисунке 3.

Результаты исследований позволяют охарактеризовать поведение нефтяных УВ в почвенном профиле следующим образом. При поступлении в грунты большого объема нефтяных УВ часть лёгких УВ теряется за

счёт их улетучивания; остальные УВ под действием гравитационных сил просачиваются в глубину до водоносного горизонта, который является для них геохимическим барьером. Радиальная миграция нефтяных УВ в почвенном профиле ускоряется вытеснением их из порово-трещинного пространства поступающими атмосферными осадками. Сформировавшийся вторичный техногенный поток нефтяных УВ перемещается латерально с грунтовыми водами, увеличивая ореол загрязнения.



а)



б)

- а) проба нефтяных УВ из шурфа на берегу (кривая В на рисунке 2)
- б) плёнка нефтяных УВ на поверхности воды в реке на участке разгрузки (кривая А на рисунке 2)

Рисунок 3. Хроматограммы образцов нефтяных УВ в реке Белая

Нефтяные УВ таким образом мигрируют в соответствии с уклоном местности и выходят за пределы первичного контура загрязнения. В ходе изучения техногенных потоков на левобережье установлено, что в процессе миграции нефтяных УВ произошло насыщение ими грунтов на глубине более 2,5 м. Для оценки закономерностей преобразования состава нефтяных УВ при их латеральном перемещении в сторону реки Белая проведен хроматографический анализ проб [10]:

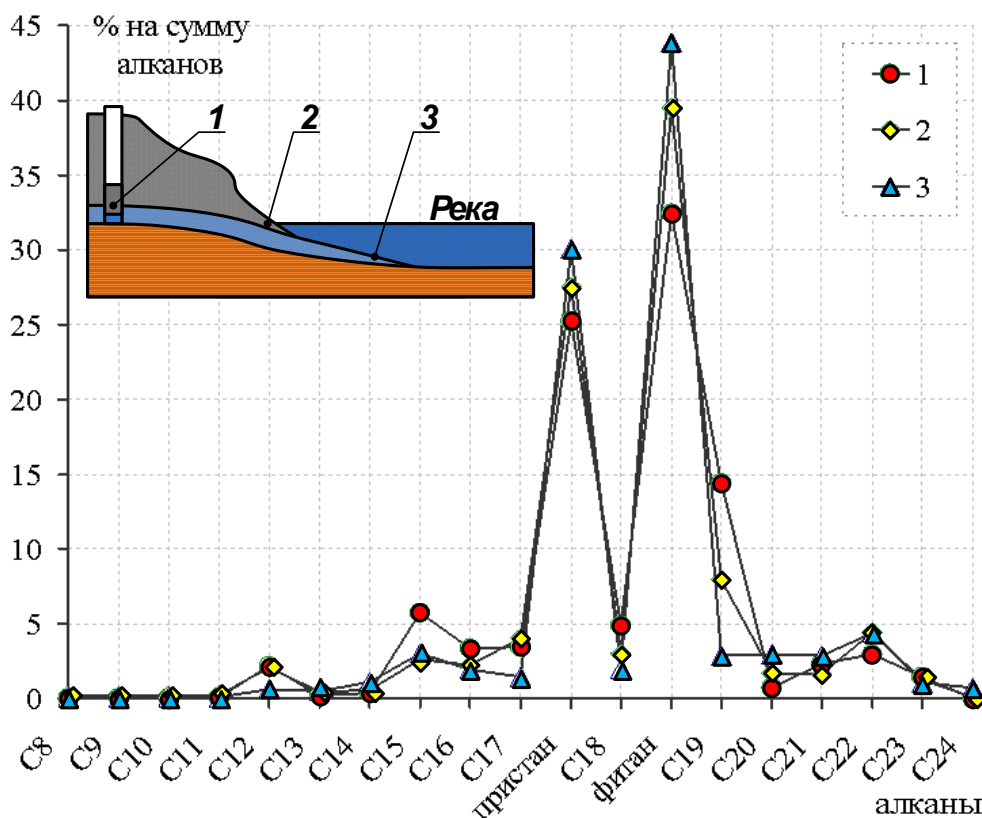
- грунта, отобранного на глубине 280-360 см из шурфа, заложенного в 110 м от уреза воды в реке;
- поверхностного слоя почвенной поймы на побережье реки;

- донных отложений в створе с участком разгрузки подземных вод.

По полученным хроматограммам построены кривые, отражающие соотношение индивидуальных n-алканов C<sub>8</sub>-C<sub>24</sub>, пристана и фитана в исследованных пробах (рисунок 4).

На рисунке 4 также схематично показано, что исследованные пробы представляют сопряженные между собой среды, по которым происходит миграция нефтепродуктов в сторону реки Белая.

Песчано-гравийный слой на глубине 300-350 см, поверхностный слой прирусловой пойменной почвы и донные отложения характеризуются высоким относительным содержанием пристана и фитана.



- 1 - грунт, слой 300-350 см, из шурфа в 110 м до уреза воды;
- 2 - почва на берегу реки, поверхностный слой 0-20 см;
- 3 - донные отложения в зоне прилегания загрязнённого участка

Рисунок 4. Соотношения алканов в экстрактах, выделенных из образцов почвы и донных отложений реки Белая - сред-проводников техногенного потока



### Вывод

Исследования, проведенные на левобережье реки Белая, свидетельствуют о распространении в подземных горизонтах вторичных техногенных потоков нефтяных углеводородов, представляющих собой линзы нефтепродуктов и пленку на поверхности грунтовых вод. Также с уверенностью можно предположить, что одним из важных и значи-

мых факторов формирования объектов НЭУ будет низкая скорость самоочищения деполирующих компонентов природной среды.

Учитывая масштабы нефтяных скоплений на участке левобережья реки Белая, является целесообразной разработка технологии извлечения нефтяных углеводородов с последующей их переработкой в товарный продукт.

### Список литературы

1. Ягафарова Г.Г., Акчурина Л.П., Федорова Ю.А., Ягафаров И.П., Сафаров А.Х. Повышение эффективности рекультивации нефтезагрязненных грунтов // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18. № 2. С. 72-74.
2. Галиулин Р.В., Галиулina Р.А., Башкин В.Н. Защита поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью // Вода: химия и экология. 2016. № 11 (101). С. 10-15.
3. Жанбуршин Е.Т. Проблемы загрязнения поверхностных и подземных вод мангистауской области в результате деятельности нефтяной промышленности // Гидрометеорология и экология. 2004. № 3 (34). С. 146-150.
4. Rizwan R., Gurdeep S. Impact of Industrial Development on Surface Water Resources in Angul Region of Orissa // International Journal of Environmental Sciences. 2010. Vol. 1. No. 4. P. 514-522.
5. Галинуров И.Р., Сафаров А.М., Островская Ю.В. Оценка отдаленных последствий нефтяного загрязнения паводково-пойменных комплексов малых рек // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 2. С. 152-166. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Galinurov/Galinurov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Galinurov/Galinurov_1.pdf) (дата обращения 03.02.2014).
6. Song Y., Wei Y., Qian H., Fang Y. Analysis of the Groundwater and Soil Pollution by Oil Leakage // Procedia Environmental Sciences. 2011. No. 11. P. 939-944. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.12.144.
7. Fontenot B.E., Hunt L.R., Hildenbrand Z.L. An Evaluation of Water Quality in Private Drinking Water Wells Near Natural Gas Extraction Sites in the Barnett Shale Formation // Environmental Science and Technology. 2013. Vol. 47. Issue 17. P. 10032-10040. DOI:10.1021/es4011724.
8. Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р. Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды и здоровье населения (обзор литературы) // Медицина труда и экология человека. 2018. № 4 (16). С. 12-26.
9. Cruz J.M., Lopes P.M., Montagnolli N., Tamada I.S., Gsilva N.M., Bidoia E.D. Phytotoxicity of Soil Contaminated with Petroleum Derivatives and Biodiesel Ecotoxicol // Ecotoxicology and Environ-

### References

1. Yagafarova G.G., Akchurina L.R., Fedorova Yu.A., Yagafarov I.R., Safarov A.Kh. Povyshenie effektivnosti rekultivatsii neftezagryaznennykh gruntov [Enhancing of the Effectiveness of Remediation of Petropolluted Soil]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2011, Vol. 18, No 2, pp. 72-74. [in Russian].
2. Galiulin R.V., Galiulina R.A., Bashkin V.N. Zashchita poverkhnostnykh i podzemnykh vod ot zagryazneniya nef'tyu [Protection of Surface and Ground Waters Against Oil Contamination]. *Voda: khimiya i ekologiya - Water: Chemistry and Ecology*, 2016, No 11 (101), pp. 10-15. [in Russian].
3. Zhanburshin E.T. Problemy zagryazneniya poverkhnostnykh i podzemnykh vod mangistauskoj oblasti v rezul'tate deyatel'nosti nef'tyanoi promyshlennosti [Problems of Surface and Underground Water Pollution in Mangystau Region as a Result of Oil Industry Activities]. *Gidrometeorologiya i ekologiya - Hydrometeorology and Ecology*, 2004, No 3 (34), pp. 146-150. [in Russian].
4. Rizwan R., Gurdeep S. Impact of Industrial Development on Surface Water Resources in Angul Region of Orissa. *International Journal of Environmental Sciences*, 2010, Vol. 1, No. 4, pp. 514-522.
5. Galinurov I.R., Safarov A.M., Ostrovskaya Yu.V. Otsenka otdalennykh posledstviy nef'tyanogo zagryazneniya pavodkovo-poimennykh kompleksov malykh rek [Estimation of Petroleum Pollution Remote Consequences of Small Rivers Bottomlands]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2011, No. 2, pp. 152-166. Available at: [http://www.ogbus.ru/authors/Galinurov/Galinurov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Galinurov/Galinurov_1.pdf) (accessed 03.02.2014). [in Russian].
6. Song Y., Wei Y., Qian H., Fang Y. Analysis of the Groundwater and Soil Pollution by Oil Leakage. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, No. 11, pp. 939-944. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.12.144.
7. Fontenot B.E., Hunt L.R., Hildenbrand Z.L. An Evaluation of Water Quality in Private Drinking Water Wells Near Natural Gas Extraction Sites in the Barnett Shale Formation. *Environmental Science and Technology*, 2013, Vol. 47, Issue 17, pp. 10032-10040. DOI:10.1021/es4011724.
8. Baktybaeva Z.B., Suleimanov R.A.,

mental Safety, 2013, Vol. 8, No. 1, P. 49-54. DOI: 10.5132/eec.2013.01.007.

10. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. СПб: Анатолия, 2000. 250 с.

Valeev T.K., Rakhmatullin N.R. Otsenka vozdeistviya neftepererabatyvayushchei i neftekhimicheskoi promyshlennosti na ekologo-gigienicheskoe sostoyanie ob'ektov okruzhayushchei sredy i zdorov'e naseleniya (obzor literatury) [Evaluation of Oil Refining and Petrochemical Industry Impact on Environmental and Hygienic State of Environmental Objects and Population Health (Literature Review)]. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka - Occupational Medicine and Human Ecology*, 2018, No. 4 (16), pp. 12-26. [in Russian].

9. Cruz J.M., Lopes P.M., Montagnolli N., Tamada I.S., Gsilva N.M., Bidoia E.D. Phytotoxicity of Soil Contaminated with Petroleum Derivatives and Biodiesel Ecotoxicol. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, Vol. 8, No. 1, pp. 49-54. DOI: 10.5132/eec.2013.01.007.

10. Drugov Yu.S., Rodin A.A. *Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefti i nefteproduktov* [Environmental Analyses in Oil and Oil Product Spills]. Saint-Petersburg, Anatoliya Publ., 2000. 250 p. [in Russian].

#### Авторы

• Сафаров Айрат Муратович, д-р техн. наук, профессор  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Прикладная экология»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: Kafedra\_ecologia@mail.ru

• Акчурина Лилия Рамилевна, канд. техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Прикладная экология»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: Akchurina\_lr@mail.ru

• Хурамшина Регина Азатовна  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Аспирант кафедры «Прикладная экология»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: khuramshina.regina@mail.ru

• Мунирова Дарья Дмитриевна  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Аспирант кафедры «Прикладная экология»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: mynirova\_darya@mail.ru

#### The Authors

• Safarov Airat M., Doctor of Engineering  
Sciences, Professor  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Applied Ecology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: Kafedra\_ecologia@mail.ru

• Akchurina Liliya R., Candidate of Engineering  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Applied Ecology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: Akchurina\_lr@mail.ru

• Khuramshina Regina A.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Post-graduate Student of Applied Ecology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: khuramshina.regina@mail.ru

• Munirova Daria D.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Post-graduate Student of Applied Ecology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: mynirova\_darya@mail.ru

• Кузнецова Гульнара Мажитовна, канд. техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Прикладная экология»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: kuznecova\_gulnar@mail.ru

• Kuznecova Gulnara M., Candidate of Engineering  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Applied Ecology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: kuznecova\_gulnar@mail.ru

• Сафаров Альберт Хамитович, канд. техн. наук,  
доцент  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Прикладная экология»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: Alsaf1978@mail.ru

• Safarov Albert Kh., Candidate of Engineering  
Sciences, Associate Professor  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Applied Ecology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: Alsaf1978@mail.ru