

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ

*Ю.С. Глязнецова\**, *О.Н. Чалая*, *С.Х. Лифшиц*, *И.Н. Зуева*

Институт проблем нефти и газа СО РАН,  
Россия, 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1; \**gchlab@ipng.ysn.ru*

**Реферат.** В работе представлены результаты десятилетнего мониторинга нефтезагрязненных почв в районе нефтепровода «Талакан-Витим» (Юго-Западная Якутия), где в 2006 году произошел аварийный разлив нефти. Показано, что при общей тенденции к снижению от  $91 \text{ г кг}^{-1}$  в 2006 г. до  $46 \text{ г кг}^{-1}$  в 2015 г., через 10 лет после аварии уровень загрязнения все еще оставался очень высоким. Активность собственных почвенных микроорганизмов-нефтедеструкторов, предположительно, возросла лишь через три года после аварии, что свидетельствует о низких скоростях процессов естественного восстановления почв в условиях криолитозоны. Изучение состава почвенных экстрактов показало, что трансформация нефтезагрязнения происходила главным образом за счёт процессов окислительной деструкции, в результате нефтезагрязнение приобрело асфальтово-смолистый устойчивый характер.

При отсутствии новых разливов увеличение уровня нефтезагрязнения в отдельные годы наблюдений (2010, 2011, 2015 гг.) может свидетельствовать о сохранении способности нефти к миграции в мерзлотных почвах в течение длительного времени. Присутствие мерзлотного слоя определяет латеральный характер распространения нефтезагрязнения по поверхности. В то же время при сезонном оттаивании грунтов компоненты нефти частично выносятся в вышележащие почвенные слои, мигрируя с тальми и грунтовыми водами вдоль мерзлотного слоя. Таким образом, процесс загрязнения нефтью приобретает хронический характер за счёт ежегодного поступления нефтяных компонентов.

Высокие значения остаточного содержания нефти в почве указывают на формирование аномальных углеводородных полей техногенного генезиса, что свидетельствует о необходимости продолжения мониторинга нарушенных нефтезагрязнением территорий, а также о целесообразности проведения восстановительных работ.

**Ключевые слова.** Аварийный разлив нефти, трансформация нефти, криолитозона, миграция нефти, асфальтово-смолистые компоненты.

## MONITORING OF OIL POLLUTED SOILS OF CRYOLITHOZONE

*Yu.S. Glyaznetsova\**, *O.N. Chalaya*, *S.H. Lifshits*, *I.N. Zueva*

Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the RAS,  
1, Oktyabrskaya str., 677980, Yakutsk, Russia; *gchlab@ipng.ysn.ru\**

**Abstract.** In the paper the results of a ten-year monitoring of oil contaminated soils in the area of the “Talakan-Vitim” oil pipeline are given (South-Western

Yakutia). The emergency oil spill occurred in 2006. It had been shown that after ten years monitoring the level of oil pollution soils stayed sufficiently high at determined trend to decrease from  $91 \text{ g kg}^{-1}$  (2006 year) to  $46 \text{ g kg}^{-1}$  (2015 year). As appeared that activity self-soils microorganisms had increased after three years within the emergency spill. Thus may say about low rates of self-recovery soils in cryolithozone conditions. The obtained results of study of soils extracts showed that oil pollution composition modified and became asphaltene-resin character as result of transformation oil with domination of oxygen break down processes.

For some years of monitoring in the regions without supposition new fresh spills an increase of oil pollution level has indicated that may concern as an ability of oil components to migrate in permafrost soils during long time. The presence of permafrost layer causes a lateral character of oil pollution spreading. At the same time during season thawing of grounds oil components partly are transported up by thawed and ground waters into higher soil layers in process of migration along permafrost layer. Thus process of oil pollution soils becomes stable character as result of supposition of annual additions of oil components.

High values of residual oil content in soils indicate formation of abnormal hydrocarbons fields of technogenic genesis. It is necessary to continue a monitoring of the areas disturbed by oil pollution and to carry out remediation works.

The features of the distribution and migration of oil in the soil under conditions of permafrost are shown. Based on a detailed study of the chemical composition of soil samples, the processes of natural degradation of oil pollution are investigated. It has been established that the residual oil pollution is stable and self-healing recovery of soils is slow. Three stages of oil transformation in the permafrost soils of Yakutia have been singled out. High values of residual oil content in soils indicate the formation of anomalous hydrocarbon fields of technogenic genesis.

**Keywords.** Emergency oil spill, oil transformation, cryolithozone, oil migration, asphaltenes and resins components.

## Введение

Эксплуатация объектов нефтегазовых комплексов (НГК) часто сопровождается различного рода разливами, утечками, а иногда и крупномасштабными авариями. Попадая в почву, нефть сорбируется ею. При этом компоненты нефти смешиваются с нативным органическим веществом почв, что ведет к повышению содержания углеводов в почвах вплоть до формирования аномальных поверхностных геохимических полей техногенного генезиса. Характер распределения нефтяных компонентов в почвах зависит от ряда факторов, основными из которых являются: морфологические, структурные, вещественные и генетические особенности конкретного почвенного профиля, его положение в системе геохимических сопряжений ландшафтных фаций, количество и состав поступившей нефти, время, прошедшее с момента загрязнения (Пиковский, 1993; Гольдберг и др., 2001). Все это определяет пеструю картину реального распределения нефтяных компонентов в почвенном профиле. Последствия разливов нефти трудно оценить, поскольку

---

нефтяное загрязнение нарушает естественные процессы и взаимосвязи, изменяя условия обитания всех живых организмов.

Основной особенностью природных экосистем северных регионов, определяющей условия распространения и деструкции нефти в почве, является наличие криолитозоны. Мерзлотные почвы Якутии формируются в суровых климатических условиях и характеризуются слабым развитием почвенных процессов, неразвитостью почвенного профиля, способностью аккумулировать как легкие, так и тяжелые нефтепродукты (НП) (Саввинов, 2007). В почвах криолитозоны, в отличие от регионов с благоприятными климатическими условиями, процессы биодegradации разлитых нефти и НП протекают значительно медленнее, что предопределяет более низкую способность мерзлотных почв к самоочищению (Глянцева и др., 2012). Если в регионах с благоприятными климатическими условиями процесс самовосстановления нефтезагрязненных почв без применения дополнительных мер по реабилитации нарушенных земель занимает 10-25 лет, то в условиях севера деструкция нефти и её производных может длиться до 50 лет и более (Пиковский, 1988; Оборин и др., 2008; Foght, Westlike, 1992; Bioremediation..., 2008).

При поступлении нефти на поверхность почвы и ее миграции вниз по профилю ее асфальтово-смолистые компоненты сорбируются в основном в верхнем, гумусовом горизонте, иногда прочно цементируя его, что уменьшает поровое пространство почв. Асфальтово-смолистые компоненты гидрофобны, обволакивая корни растений, они резко ухудшают поступление к ним влаги, препятствуют поступлению питательных веществ, в результате чего растения погибают (Оборин и др., 2008). Исследование процессов деструкции нефти и НП, попавших в почву в результате аварийных разливов, утечек в местах хранения или транспортировки, необходимо для понимания механизмов самоочищения и восстановления почв, повышения эффективности очистных работ, ведения мониторинга за объектами на загрязнение их нефтью или НП.

Основными особенностями негативного воздействия нефти и НП на почвы являются: неравномерность загрязнения территорий самих объектов; локальные скопления НП в различных техногенных формах. Конкретные формы локальных скоплений связаны, прежде всего, со специфическими свойствами собственно нефтей и НП, свойствами самих почв, а также присутствием многолетнемерзлых пород (Глянцева и др., 2016).

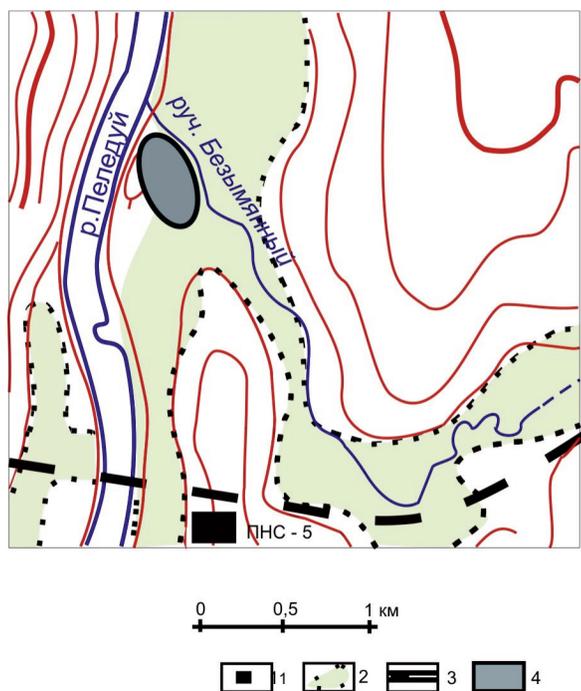
Талаканское нефтегазоконденсатное месторождение является одним из основных месторождений Якутии по добыче нефти. До ввода в действие трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» нефть от месторождения доставлялась к потребителям по временному нефтепроводу «Талакан-Витим». 24 мая 2006 года на данном нефтепроводе произошла техногенная авария, в результате которой нефтью были загрязнены поверхностные воды Безымянного ручья общей площадью 71 650 м<sup>2</sup>, озера Талое, имеющего акваторию площадью 100 000 м<sup>2</sup>, реки Пеледуй с загрязнением ее водной поверхности протяженностью 103 километра пленкой нефти, начиная от устья ручья, впадающего в озеро Талое, до места впадения реки Пеледуй в

реку Лена. Помимо водных поверхностей загрязнению нефтью подверглись земли общей площадью около 2.31 гектара. Ширина разлива нефти составила 3.5-5 м. Загрязнение просочилось на глубину 60 см и по данным Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) составило от 8.6 до 15 г кг<sup>-1</sup> и выше. Суммарный объем нефти, вылившейся из нефтепровода в результате аварии, составил 244.68 тонн. Из них около 173.199 тонн попало в озеро Талое, Безымянный ручей и реку Пеледуй (В Якутии..., 2007).

Целью исследований явилось обобщение результатов десятилетнего мониторинга мерзлотных почв, загрязненных нефтью в результате аварийного разлива, изучение особенностей миграции нефти в приповерхностном слое почвы (0-20 см) и динамики ее трансформации в условиях естественного самоочищения почв.

### Методы и материалы

В районе аварийного разлива нефти (59°57'44.5"N 112°10'03.3"E) ежегодно в летний период времени проводились полевые работы по эколого-геохимической оценке состояния мерзлотных почв. Для этого были заложены мониторинговые площадки. На одной из площадок площадью 0.5 га, расположенной в устье ручья Безымянный, были выбраны 12 контрольных участков размером 1×1 м, с которых в течение всех последующих лет отбирались пробы почв. Расположение участков отбора проб отмечено на схеме (рис. 1).



**Рисунок 1.** Схема размещения точек отбора  
Обозначения: 1 – насосная станция, 2 – смешанный лес, 3 – нефтепровод,  
4 – место отбора проб

Исследуемый участок находится в пределах Ленского района Республики Саха (Якутия). Аварийный разлив зафиксирован в 1.9 км от передвижной насосной станции (ПНС-5). Направление движения нефти вниз по склону к ручью с загрязнением оз. Талого и далее руч. Безымянный от озера в р. Пеледуй, с выходом в долину р. Лена. В геоморфологическом плане участок расположен в пределах склонового типа местности и характеризуется пологими склонами, с уклонами и соответствующим направлением стока вниз к пониженным участкам рельефа. Формирование последнего обусловлено особенностями ландшафтообразующих пород (геологическая среда – коренные породы в пределах всего Приленского плато). Специфическим отличием плато является практически повсеместное развитие процессов карстообразования и существования карстовых форм рельефа. Соответственно им тип ландшафта – интразональный водораздельно-маревый, среднетаежный, сплошного распространения многолетнемерзлых пород, с частыми подоцерными и подрусловыми таликами. Мощность мерзлотного слоя 20-30 м, глубина сезонного оттаивания от 0.3 до 2 м.

Для исследуемой территории характерен густой лес, где преобладают сосна, береза, подрост сосны, ольхи и пихты, кустарники (голубица, брусника), напочвенный покров составляют мхи. Рельеф представляет пологий склон, микрорельеф – западинный, мелкобугристый. Почвы характеризуются холодным профилем и в течение 7-8 месяцев в году имеют отрицательную температуру. Для характеристики почв на исследуемой площадке был заложен почвенный профиль. Почвенно-растительный слой на глубине 0-10 (15) см характеризуется суглинком оторфованным, увлажненным, темно-серого (ближе к черному) цвета с корнями растительности. На глубине 15-60 см – суглинок светло-бурого цвета, сильно увлажненный, с включениями суглинка оторфованного темно-серого цвета. На дне почвенного профиля идет поступление вод сезонно-талого слоя.

Объединенные пробы почв отбирали с контрольных участков по методу «конверта» в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. Места закладки почвенных разрезов выбирали таким образом, чтобы охватить по возможности все виды почв различных типов ландшафта, а также фоновые участки почвенного покрова. Отбор проб, их этикетирование и транспортировку проводили согласно государственным стандартам с учетом рекомендаций. Содержание углеводородов нефти и нефтепродуктов определяли по профилю почвы: на глубине горизонта 0-20 см. В каждой объединенной пробе общий вес составлял 1 кг. Пробы почвы для определения количества нефти и нефтепродуктов помещали в полимерные пакеты, нумеровали, регистрировали в журнале с указанием порядкового номера, даты, времени, места отбора пробы, рельефа местности, климатических условий, типа почвы, вида и года загрязнения.

Для сравнения отбирались образцы почв на участках, расположенных вне зоны влияния техногенной аварии, которые характеризовали природный геохимический фон. Отбор фоновых проб почвы – в соответствии с пунктом 4 ГОСТ 17.4.3.01-83: «При необходимости получения сравнительных результатов пробы незагрязненных и загрязненных почв отбирают в идентичных есте-

ственных условиях». Фоновые пробы отбирались чистым инструментом на расстоянии 100-150 м от загрязненной территории, которая характеризуется таким же типом почв, что и почвы мониторинговой площадки. Все отобранные почвенные пробы сушили и отсеивали от корней растений.

Уровень нефтезагрязнения почв определяли методом холодной хлороформной экстракции по выходу почвенных экстрактов. Для изучения процессов трансформации нефти выделенные экстракты изучали с использованием методов инфракрасной спектроскопии, жидкостно-адсорбционной хроматографии и хроматомасс-спектрометрии. ИК-спектры снимались на ИК-Фурье спектрометре Protege 460 фирмы Nicolet в диапазоне волновых чисел 500-4000  $\text{см}^{-1}$ . Расшифровку спектров проводили по атласам ИК-спектров и таблицам волновых чисел (Беллами, 1971; Большаков, 1986).

Жидкостно-адсорбционную хроматографию использовали для фракционного деления почвенных экстрактов на углеводородные, смолистые компоненты смолы (Успенский и др., 1975; Методика измерений № 222.0119, 2014).

Углеводородную фракцию изучали методом хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС). ГХ/МС исследования проводили на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0.25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. В качестве газа-носителя служил гелий со скоростью потока 1 мл/мин. Температура испарителя 320°C. Программирование подъема температуры осуществляли от 100 до 300°C со скоростью 6°C/мин. Ионизирующее напряжение источника 70 eV. Более подробно методики исследований приведены в работе (Каширцев, 2003; Методика измерений № 222.0118, 2014).

Повторность измерений трехкратная. На рисунках и в таблицах приведены данные в виде средних арифметических значений.

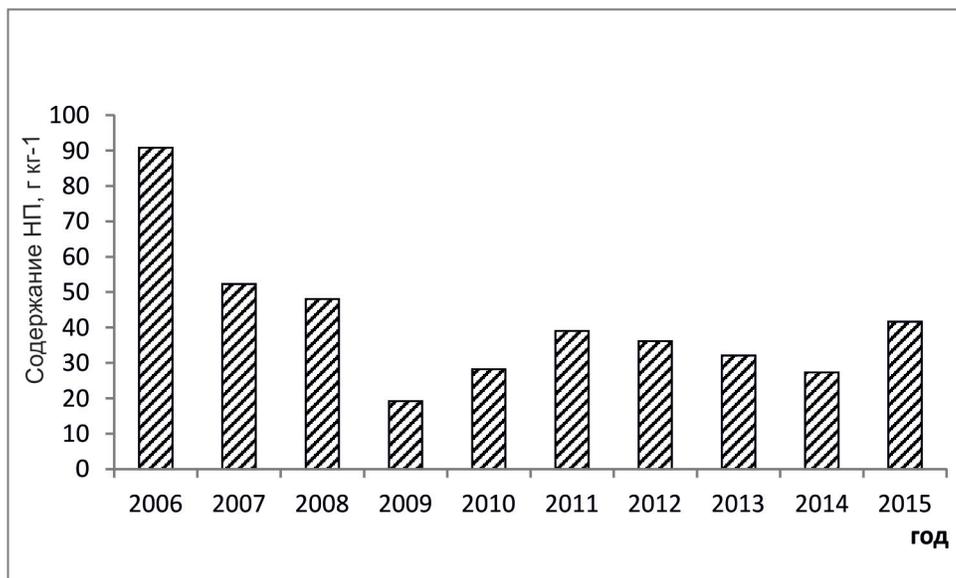
## Результаты

Среднее фоновое содержание нефтяных углеводородов в почвах для района обследования составляет 0.697  $\text{г кг}^{-1}$ .

Определение уровня нефтезагрязнения выбранных участков показало, что степень их загрязнения очень сильно отличается. Это, по-видимому, связано с микрорельефом местности (мелкобугристый) с уклонами и соответствующим направлением стока вниз к пониженным участкам рельефа. Вследствие этого, для интегральной оценки уровня нефтезагрязнения исследуемой территории вычисляли средний уровень загрязнения по всем выделенным участкам. На рис. 2 показано среднее остаточное содержание НП в почвах по годам наблюдений с 2006 по 2015 гг. Как видно, при общем тренде к снижению (от 91  $\text{г кг}^{-1}$  в 2006 г. до 45  $\text{г кг}^{-1}$  в 2015 г.), уровень загрязнения достаточно сильно колеблется и через 10 лет наблюдений все еще остается очень высоким. Следует отметить, что для территории Якутии нормативы допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почве не разработаны, поэтому уровень загрязнения определяли по классификации, предложенной В.М. Гольдбергом

---

(Гольдберг и др., 2001). Эта классификация разработана с учетом типа почв, их происхождения, климатической зоны, состава НП и позволяет дифференцированно подойти к оценке территорий по степени загрязнения и выявить локальные участки, требующие первоочередных мероприятий по их очистке.



**Рисунок 2.** Динамика изменения среднего остаточного содержания НП в почвах контрольных участков мониторинговой площадки в районе аварийного разлива нефти на нефтепроводе «Талакан-Витим»

Максимальное снижение содержания НП, почти в два раза, было отмечено в первый год наблюдений. На данном этапе нефть в почве преобразуется в основном за счет физико-химического разрушения, дегазации, растворения, ультрафиолетовой деструкции (Оборин, 2008). Далее, в случае самовосстановления почв, обычно включаются процессы трансформации, связанные с биодegradацией загрязнения под влиянием собственных почвенных микроорганизмов-нефтедеструкторов (Оборин, 2008).

Рассмотрим, как изменился состав нефти за время наблюдений. На рис. 3 представлены ИК-спектры почвенных экстрактов, а на рис. 4 – изменения относительных коэффициентов поглощения кислородсодержащих групп по отношению к углеводородным по годам наблюдений.

Видно (рис. 3), что в химической структуре экстракта исходной нефтезагрязненной пробы, отобранной в 2006 г. практически сразу после аварии, преобладают углеводородные группы и связи: соединения с длинными метиленовыми цепями (полоса поглощения (п.п.)  $720\text{ см}^{-1}$ ), ароматические углеводороды (п.п.  $750$ ,  $810$  и  $1600\text{ см}^{-1}$ ). Со временем в спектрах увеличивается поглощение кислородсодержащих групп и связей по сравнению с углеводородными структурами. Интенсивность п.п.  $1700\text{ см}^{-1}$ , характерной для карбонильных групп и п.п. в области  $3300\text{--}3400\text{ см}^{-1}$  для гидроксильных групп, со временем увеличивается, в то время как интенсивность полос  $1460\text{ см}^{-1}$  (метильные и метиленовые группы) и  $1600\text{ см}^{-1}$  (ароматические

циклы) уменьшается. В результате наблюдается увеличение относительных коэффициентов поглощения кислородсодержащих соединений – карбонильных групп ( $D'_{1700}$ ) и эфирных связей ( $D'_{1170}$ ), по годам наблюдений (рис. 4а,б).

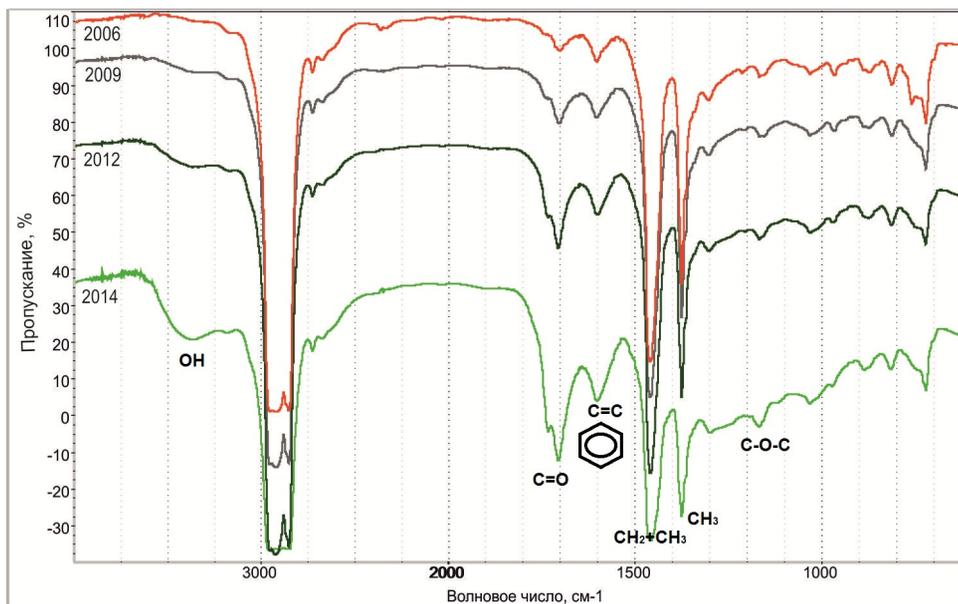
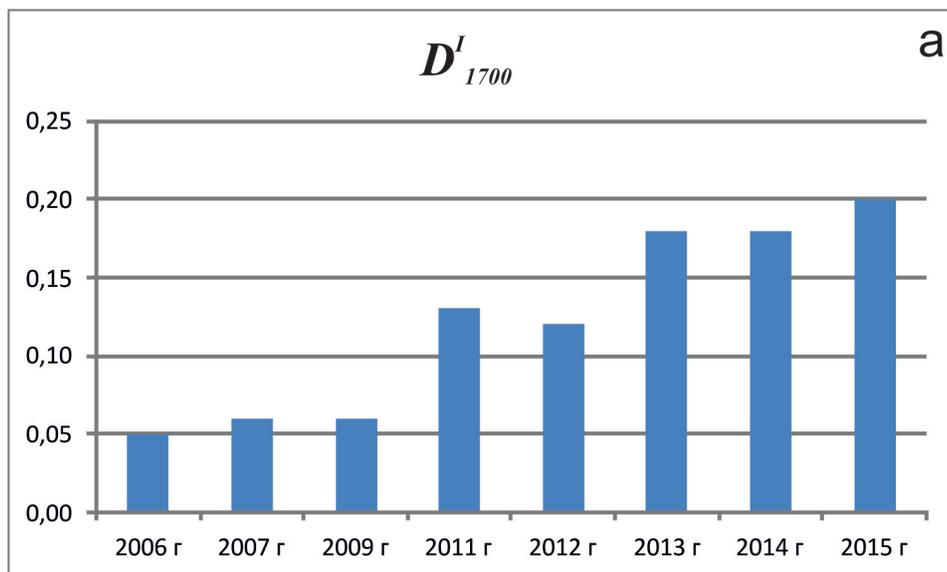
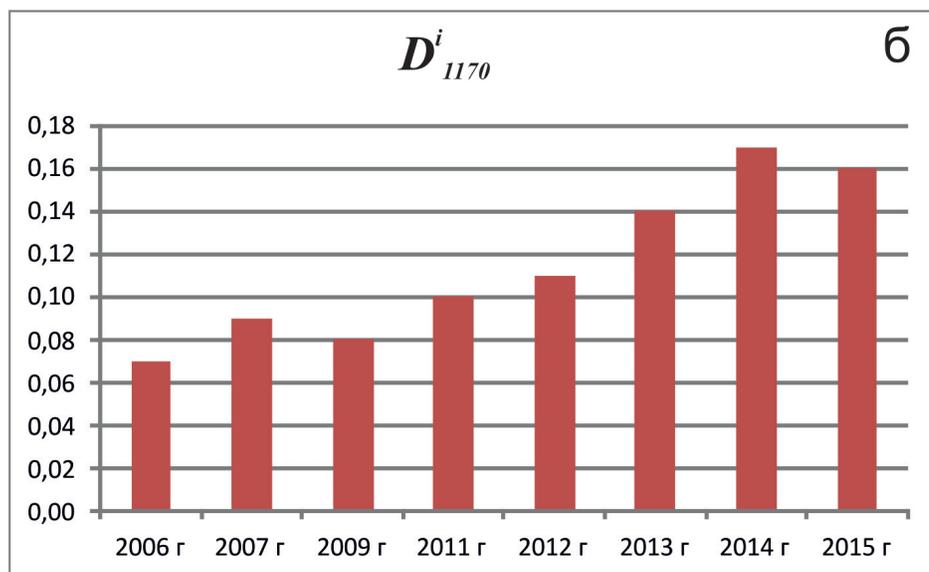


Рисунок 3. ИК-спектры экстрактов почв, отобранных в разные годы наблюдений





**Рисунок 4.** Изменение относительного коэффициента поглощения кислородсодержащих групп в ИК-спектрах экстрактов  
*а – карбонильных групп; б – эфирных связей*

Изменения значений относительных коэффициентов поглощения структурных групп рассчитывали по формуле:

$$D^I_v = D_v / D_{1460}$$

где  $D_v$  – оптическая плотность п.п.;  $D_{1460}$  – оптическая плотность п.п.  $1460 \text{ см}^{-1}$

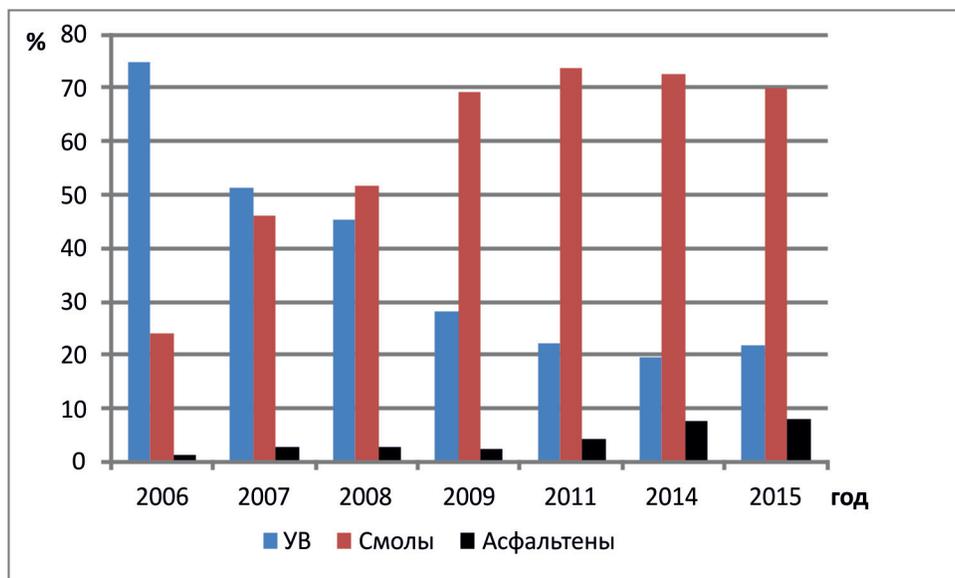
Все вышеперечисленные изменения в характере ИК-спектров и относительных коэффициентов поглощения кислородсодержащих групп по отношению к углеводородным свидетельствуют о протекании процессов окислительной деструкции нефти в почвах.

Это же подтверждают данные, полученные при изучении группового компонентного состава почвенных экстрактов (рис. 5). За 10 лет наблюдений в составе почвенных экстрактов произошли изменения в сторону уменьшения доли углеводородных компонентов и увеличения смол и асфальтенов. К концу наблюдений состав загрязнения приобрел асфальтово-смолистый характер.

Согласно данным хромато-масс-спектрометрии в ходе трансформации нефти, в углеводородном составе также произошли изменения, которые сопровождалась перераспределением углеводородов (УВ) как внутри гомологических рядов, так и между различными рядами гомологов (табл. 1, рис. 6).

В исходных загрязненных пробах, отобранных в 2006 году, и еще не подвергшихся трансформации, в составе насыщенных УВ преобладали алканы нормального строения, а среди них относительно низкомолекулярные гомологи с максимумами распределения на  $n\text{-C}_{15}$ ,  $n\text{-C}_{17}$  (табл. 1, рис. 6). Отношение  $n$ -алканов с нечетным числом атомов углерода к  $n$ -алканам с четным

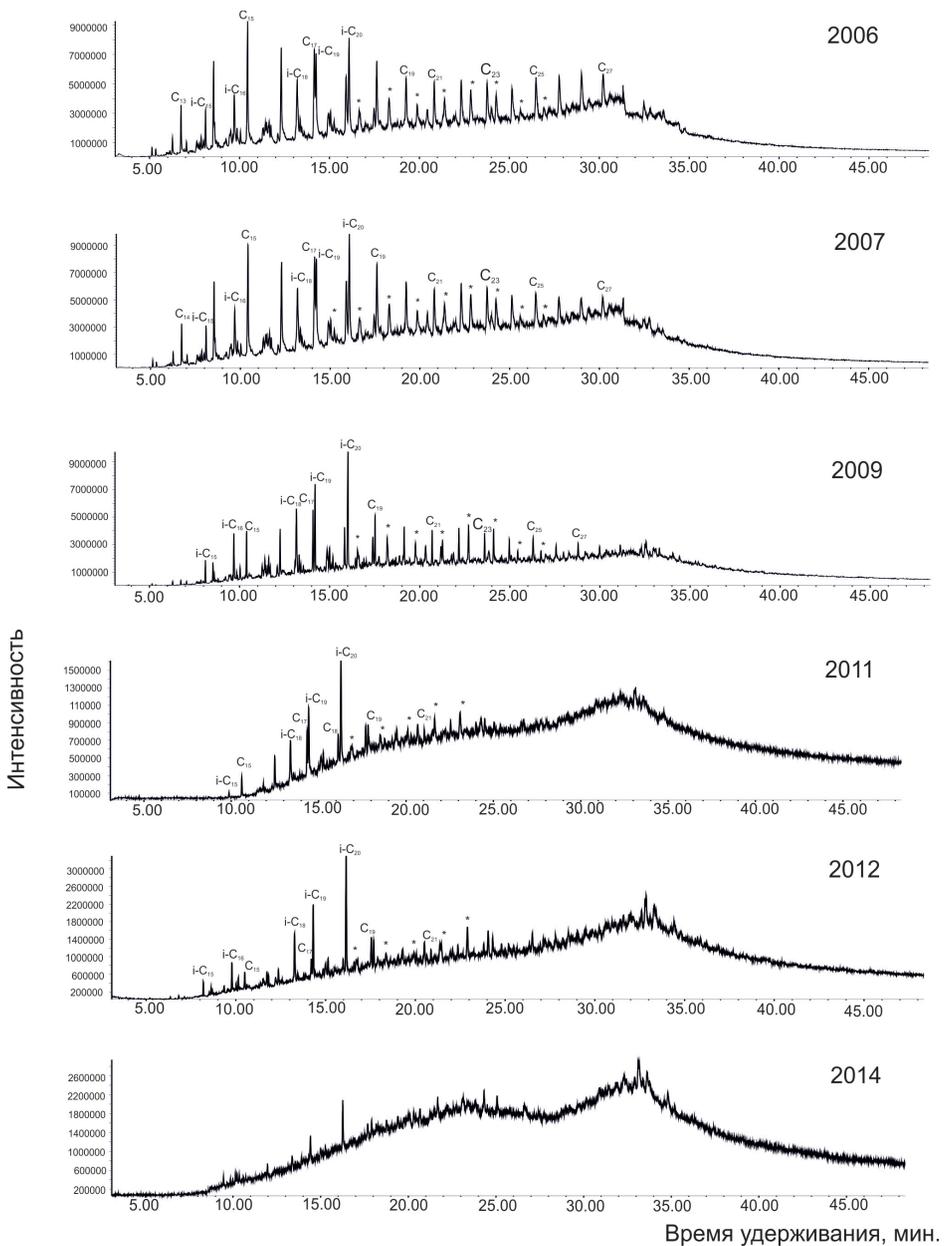
числом (коэффициент нч/ч) было близко к единице. Изопреноиды составляли 18.40-19.81%. В их составе фитан (i-C<sub>20</sub>) преобладал над пристаном (i-C<sub>19</sub>) и н-октадеканом (н-C<sub>18</sub>). Соотношение пристан/н-C<sub>17</sub> было близко к единице. Таким распределением насыщенных УВ характеризуются нефти венд-кембрийских отложений Непско-Ботубинской нефтегазоносной области, к которым относится нефть Талаканского нефтегазоконденсатного месторождения, послужившая источником загрязнения (Геохимия нефтей..., 2009).



**Рисунок 5.** Динамика изменения содержания углеводородных и асфальтово-смолистых компонентов в составе почвенных экстрактов по годам наблюдений

**Таблица 1.** Характеристика состава насыщенных УВ проб почв

Параметры	Год					
	2006	2007	2009	2011	2012	2015
Групповой состав алкановых УВ, % на $\sum$ идентифицированных алканов:						
н-алканы	52.39	50.85	30.03	30.51	26.81	отс.
изопреноиды	19.81	18.40	25.76	30.76	42.65	49.37
12-и 13-метилалканы	12.03	14.52	16.37	12.92	19.28	10.61
$\sum$ н.к.-н-C <sub>20</sub> / $\sum$ н-C <sub>21</sub> -к.к.	1.23	1.33	1.17	1.26	0.69	отс.
максимум н-алканов	н-C <sub>15,17</sub>	н-C <sub>15</sub>	н-C <sub>17</sub>	н-C <sub>17,18</sub>	н-C <sub>25</sub>	н/о
изопреноиды/н-алканы	0.38	0.36	0.86	1.01	1.59	н/о
коэффициент нечет/чет	0.96	0.96	1.2	1.30	1.34	н/о
i-C <sub>19</sub> /i-C <sub>20</sub>	0.80	0.76	0.71	0.69	0.61	0.41
i-C <sub>19</sub> /н-C <sub>17</sub>	0.97	0.96	1.87	2.10	4.50	н/о
i-C <sub>20</sub> /н-C <sub>18</sub>	1.57	1.56	3.54	3.52	10.17	н/о
i-C <sub>19</sub> +i-C <sub>20</sub> /н-C <sub>17</sub> +н-C <sub>18</sub>	1.23	1.23	2.58	2.76	6.88	н/о



**Рисунок 6.** Хроматограммы по общему ионному току (ТІС) насыщенных УВ почвенных экстрактов

$C_{13}... C_{27}$  – *n*-алканы,  $i-C_{15}...i-C_{20}$  – изопреноиды, \* – 12- и 13-метилалканы

Со временем в процессе трансформации нефти в почве в составе насыщенных УВ снизилось количество *n*-алканов от 50.85-52.39% в 2006-2007 гг. до 26.81-30.51% в 2009-2012 гг. (табл. 1, рис. 6). Максимум распределения *n*-алканов со временем сдвинулся в более высокомолекулярную область: *n*- $C_{15,17}$  в 2006-2009 гг., *n*- $C_{17,18}$  в 2011 г. и *n*- $C_{25}$  в 2012 г. Увеличился до 1.34 коэффициент  $nч/ч$ . В углеводородном составе увеличилось содержание изопреноидов от 20 до 49%. Они начали преобладать над *n*-алканами (табл. 1,

рис. 5). Если соотношение изопреноиды/н-алканы в пробах, отобранных в 2006-2007 гг., составляло 0.36-0.38, то в 2011-2012 гг. оно составило уже 1.01-1.59. В пробе, отобранной в 2015 году, н-алканы уже полностью отсутствовали. Среди изпреноидов фитан преобладает над пристаном ( $i-C_{19}/i-C_{20}=0.41-0.80$ ), что отражает генетическую природу нефтезагрязнителя и является характерным для талаканской нефти (Геохимия нефтей..., 2009).

Все образцы характеризовались преобладанием суммы пристана и фитана над суммой рядом элюирующихся н-гептадекана и н-октадекана ( $i-C_{19}+i-C_{20}/n-C_{17}+n-C_{18}$ ). Эти соотношения рассматриваются большинством исследователей как показатели биодegradации нефти (Геохимия нефтей..., 2009; Сваровская и др., 2004). Чем больше их величина, тем интенсивнее протекают процессы биодegradации.

Особенностью всех проб является наличие среди изоалканов УВ ряда 12- и 13-метилалканов, типичных для нефтей венд-кембрийских отложений Западной Якутии (Петров, 1984; Геохимия нефтей..., 2009). Присутствие этих УВ является одним из показателей, позволяющих идентифицировать данный тип нефтезагрязнителя.

## Дискуссия

По мнению ряда исследователей (Глазовская, Пиковский, 1980; Оборин и др., 2008) длительность процессов разложения нефти, особенно в холодных регионах, может длиться десятилетия. Многие исследователи в своих работах выделяют три этапа преобразования нефти в почвах: физико-химическое разложение; микробиологическая трансформация нефтяных УВ и этап, когда в почвах остаются наиболее устойчивые, высокомолекулярные, малоподвижные соединения, плохо поддающиеся микробиологическому разложению. В результате в почве складывается биоценоз, отличный от фонового (Глазовская, Пиковский, 1980; Киреева, 1994; Оборин и др., 2008; Околелова и др., 2015). Продолжительность каждого этапа определяется группой факторов, которые влияют на скорость деструкции нефти: температурой, влажностью, составом и концентрацией нефти, окислительно-восстановительными условиями, типом почв, наличием аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов и др. В разных биоклиматических зонах, несмотря на общую направленность трансформации нефти, эти процессы могут несколько отличаться. Так, например, в работе Ю.И. Пиковского (1993) установлено, что первый этап дегradации длится 1-1.5 года, но данный период может существенно возрастать в зависимости от объемов разлитой нефти. Со временем в ходе трансформации нефти в почве уменьшается содержание углеводородных фракций и увеличивается количество асфальтово-смолистых компонентов. Смолы и асфальтены являются устойчивыми соединениями, малодоступными для микроорганизмов, процесс их дегradации идет крайне медленно, иногда десятки лет.

Полученные нами данные по десятилетнему мониторингу нарушенной вследствие аварийного разлива нефти территории также позволяют выделить основные этапы трансформации нефти в почвах. В первый год снижение

---

содержания нефти в почве происходило, по-видимому, в основном за счет физико-химического разрушения, дегазации, растворения, ультрафиолетовой деструкции. Увеличение активности почвенных микороорганизмов-нефтедеструкторов обычно проявляется через 2-3 месяца после попадания нефти в почву (Солнцева, 1998). В условиях криолитозоны, где произошел аварийный разлив нефти, к этому времени (август - сентябрь) вследствие невысоких положительных дневных и отрицательных ночных температур микробиологическая активность почв, по-видимому, все еще оставалась низкой. Уровень нефтезагрязнения во второй год наблюдений практически не изменился, и только на третий год после аварии намечилось значительное снижение содержания нефти, что, вероятно, связано с активизацией собственных почвенных микороорганизмов-нефтедеструкторов.

В последующие годы уровень нефтезагрязнения колебался как в меньшую, так и большую стороны. Уменьшение уровня нефтезагрязнения связано с процессами его трансформации. А его увеличение в отсутствии новых разливов, по-видимому, связано со способностью нефтезагрязнения к миграции. Проведенные нами исследования показали, что в приповерхностных слоях почвы (0-20 см) в эти годы шли процессы окислительной деструкции нефтезагрязнения, вследствие чего оно приобрело асфальтово-смолистый, а, следовательно, и малоподвижный характер. Наиболее вероятно, что миграция компонентов нефти к поверхности протекала из нижележащих почвенных горизонтов, в которых произошло их накопление, вплоть до мерзлотного слоя. На глубине вследствие более низких температур, недостатка кислорода, ультрафиолета процессы трансформации протекают крайне медленно или вообще не идут (Глазовская, Пиковский 1980; Солнцева, 1998).

Таким образом, можно предположить, что основными отличительными чертами процессов самовосстановления почв в условиях криолитозоны являются:

- увеличение активности собственных (аборигенных) почвенных микороорганизмов-нефтедеструкторов не через 2-3 месяца, как в средней полосе, а лишь на третий год после аварийного разлива;

- сохранение в течение длительного периода (в нашем случае 10 лет) способности нефти к миграции, не смотря на то, что в приповерхностных слоях почвы (0-20 см) загрязнение уже приобрело асфальтово-смолистый, малоподвижный характер. По-видимому, это связано с поступлением все новых порций компонентов нефти с тальми и грунтовыми водами при сезонном оттаивании грунтов, что служит вторичным источником нефтезагрязнения почв.

## Выводы

Результаты исследований десятилетнего мониторинга территории в районе нефтепровода «Талакан-Витим», подвергшейся загрязнению вследствие аварийного разлива нефти в 2006 г., показали, что при общей тенденции к снижению уровень загрязнения в 2015 г. через 10 лет после аварии снизился с  $91 \text{ г кг}^{-1}$  до  $45 \text{ г кг}^{-1}$  и все еще остается очень высоким. Активность собственных почвенных микороорганизмов-нефтедеструкторов, предположительно, возрас-

тает лишь на третий год после аварии, что свидетельствует о низких скоростях процессов естественного восстановления почв в условиях криолитозоны. Изучение состава почвенных экстрактов свидетельствовало о протекании процессов окислительной деструкции нефти в приповерхностных слоях почвы (0-20 см). Нефтезагрязнение приобрело асфальтово-смолистый устойчивый характер. При отсутствии новых разливов увеличение уровня нефтезагрязнения в отдельные годы наблюдений (2010, 2011, 2015 гг.) может свидетельствовать о сохранении способности нефти к миграции в мерзлотных почвах в течение длительного времени. При сезонном оттаивании грунтов компоненты нефти с мерзлотного слоя частично выносятся в вышележащие почвенные слои, мигрируя с талыми и грунтовыми водами вдоль мерзлотного слоя. Таким образом, процесс загрязнения нефтью приобретает хронический характер за счёт ежегодного поступления нефтяных компонентов.

Высокий уровень остаточного нефтезагрязнения почв указывает на формирование аномальных углеводородных полей техногенного генезиса, что свидетельствует о необходимости продолжения мониторинга нарушенных территорий, а также о целесообразности проведения восстановительных работ.

### Список литературы

Беллами Л. Дж. 1971. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. – М., Мир, 318 с.

Большаков Г.Ф. 1986. Инфракрасные спектры насыщенных углеводородов. Часть 1. Алканы. – Новосибирск, Наука, 177 с.

В Якутии нашли виновного в аварии на нефтепроводе «Талакан-Витим». Якутск, 30 мая 2007, 17:12 – REGNUM. – Электронный ресурс. URL: <https://regnum.ru/news/835872.html> (дата обращения 4 июня 2017).

Геохимия нефтей востока Сибирской платформы. 2009 – Якутск, ЯНЦ СО РАН, 180 с.

Глазовская М.А., Пиковский Ю.И. 1980. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах. – Природа, № 5, с. 118-119.

Глянцева Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х. 2012. Вопросы экологического мониторинга и реабилитации нефтезагрязненных почв арктической зоны Якутии. – Арктика и Север, № 5, с. 97-108.

Глянцева Ю.С., Зуева И.Н., Лифшиц С.Х., Чалая О.Н. 2016. Формирование поверхностных углеводородных полей техногенного генезиса на территориях объектов нефтегазового комплекса. – В сб.: Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск, Издательский дом СВФУ, с. 321-325.

Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов А.И., Казеннов С.М., Ковалевский Ю.В., Путилина В.С. 2001. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. – М., Недра, 94 с.

---

---

ГОСТ 17.4.4.02-84 Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.

Каширцев В.А. 2003. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. – Якутск, ЯФ Изд-во СО РАН, 160 с.

Киреева Н.А. 1994. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. – Уфа, БашГУ, 172 с.

Методика измерений № 222.0118/01.00258/2014. 2014. Определение состава углеводородных фракций пород, почв и отбензиненных нефтей методом хромато-масс-спектрометрии, 10 с.

Методика измерений № 222.0119/01.00258/2014. 2014. Определение группового состава хлороформенных битумоидов пород, почв и отбензиненных нефтей гравиметрическим методом, 15 с.

Оборин А.А., Хмурчик В.Т, Иларионов С. А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В. 2008. Нефтезагрязненные биоценозы. – Пермь, УрО РАН, Перм. гос. ун-т., Перм. гос. техн. ун-т., 511 с.

Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Е.С., Кастерина Н.Г. 2015. Особенности накопления и трансформации нефтепродуктов в почвах. – Волгоград, ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 104 с.

Петров А.А. 1984. Углеводороды нефти. – М., Наука, 264 с.

Пиковский Ю.И. 1988. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах. – В кн.: Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М., Наука, с. 7-22.

Пиковский Ю.И. 1993. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. – М., Изд-во МГУ, 208 с.

Саввинов Г.Н. 2007. Эколого-почвенные комплексы Якутии. – М, ООО «Недра-Бизнесцентр», 312 с.

Сваровская Л.И., Овсянникова В.С., Гузняева М.Ю. 2004. Масс-спектрометрия для оценки оксигеназной активности микроорганизмов в процессах деструкции нефти. – В сб.: Аналитика Сибири и Дальнего Востока. Тез. докл. VII конф., т. 1. – Новосибирск, с. 263.

Солнцева Н.П. 1998. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М., Изд-во МГУ, 376 с.

Успенский В.А., Радченко О.А., Горская А.И., Шишкова А.П. 1975. Методы битуминологических исследований. – Л., Недра, 123 с.

Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions. 2008. /Edited by Dennis M. Filler, Ian Snape and David L. Barnes. – Cambridge University Press, p. 273.

---

Foght J.M., Westlike D.W.S. 1992. Bioremediation of oil spills. – *Spill Technol. Newslett*, vol. 17, pp. 1-10.

## References

Bellami L. Dzh. 1971. *Novye dannye po IK-spektram slozhnykh molekul* [New data on IR spectra of complex molecules]. Moscow, 318 p.

Bol'shakov G.F. 1986. *Infrakrasnye spektry nasyshchennykh uglevodorodov* [Infrared spectra of saturated hydrocarbons]. Novosibirsk, 177 p.

*V Yakutii nashli vinovnogo v avarii na nefteprovode «Talakan-Vitim»* [In Yakutia found guilty of an accident at the oil pipeline "Talakan-Vitim"]. 2007. Yakutsk, 30 may. Available at: <https://regnum.ru/news/835872.html> (accessed 4 June 2017).

*Geokhimiia neftei vostoka Sibirskoi platformy* [Geochemistry of oil in the east of the Siberian platform]. 2009. Yakutsk, 180 p.

Glazovskaia M.A., Pikovskii Iu.I. 1980. Skorost' samoochishcheniia pochv ot nefi v razlichnykh prirodnykh zonakh [The rate of self-purification of soil from oil in different natural zones]. *Priroda – Nature*, vol. 5, no. 5, pp. 118-119.

Gliaznetsova Iu.S., Zueva I.N., Chalaia O.N., Lifshits S.Kh. 2012. Voprosy ekologicheskogo monitoringa i reabilitatsii neftezagriaznennykh pochv arkticheskoi zony Iakutii [The environmental monitoring and rehabilitation of oil-contaminated soils of the Arctic zone of Yakutia]. *Arktika i Sever – Arctic and North*, vol. 5, no. 5, pp. 97-108.

Gliaznetsova Iu.S., Zueva I.N., Lifshits S.Kh., Chalaia O.N. 2016. Formirovanie poverkhnostnykh uglevodorodnykh polei tekhnogennoho genezisa na territoriiakh ob"ektov neftegazovogo kompleksa [Formation of surface hydrocarbon fields of technogenic genesis in the territories of oil and gas complex objects]. *Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-vostoka Rossii"* [Materials of VI the All-Russian Scientific and Practical Conference "Geology and Mineral Resources of the North-East of Russia"]. Yakutsk, pp. 321-325.

Gol'dberg V.M., Zverev V.P., Arbuzov A.I., Kazennov S.M., Kovalevskii Iu.V., Putilina V.S. 2001. *Tekhnogennoe zagriaznenie prirodnykh vod uglevodorodami i ego ekologicheskie posledstviia* [Technogenic pollution of natural waters by hydrocarbons and its ecological consequences]. Moscow, 94 p.

GOST 17.4.4.02-84 *Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [Methods of selection and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis].

GOST 17.4.3.01-83 *Ohrana prirody. Pochvy. Obshhie trebovaniia k otboru prob* [Protection of Nature. Soil. General requirements for sampling].

Kashirtsev V.A. 2003. *Organicheskaiia geokhimiia naftidov vostoka Sibirskoi*

---

---

*platform* [Organic geochemistry of naphthydides of the east of the Siberian platform]. Yakutsk, 160 p.

Kireeva N.A. 1994. *Mikrobiologicheskie protsessy v neftezagriaznennykh pochvakh* [Microbiological processes in oil-contaminated soils]. Ufa, 172 p.

*Metodika izmerenii № 222.0119/01.00258/2014* [Measurement technique No. 222.0119/01.00258/2014]. 2014. Opredelenie gruppovogo sostava khloroformennykh bitumoidov porod, pochv i otbenzinennykh neftei gravimetricheskim metodom [Determination of group composition of chloroform bitumoids of rocks, soils and stripped oil by gravimetric method]. 15 p.

*Metodika izmerenii № 222.0118/01.00258/2014* [Measurement technique No. 222.0119 / 01.00258 / 2014]. 2014. Opredelenie sostava uglevodorodnykh fraktsii porod, pochv i otbenzinennykh neftei metodom khromato-mass-spektrometrii [Determination of the composition of hydrocarbon fractions of rocks, soils and stripped petroleum by chromatography-mass spectrometry]. 10 p.

Oborin A.A., Khmurchik V.T, Ilarionov S. A., Markarova M.Iu., Nazarov A.V. 2008. *Neftezagriaznennyye biotsenozy* [Oil-contaminated biocenoses]. Perm', 511 p.

Okolelova A.A., Zheltobriukhov V.F., Egorova E.S., Kasterina N.G. 2015. *Osobennosti nakopleniia i transformatsii nefteproduktov v pochvakh* [Features of the accumulation and transformation of petroleum products in soils]. Volgograd, 104 p.

Pikovskii Iu.I. 1988. Transformatsiia tekhnogennykh potokov nefti v pochvennykh ekosistemakh [Transformation of technogenic oil flows in soil ecosystems.]. *Sbornik "Vosstanovlenie neftezagriaznennykh pochvennykh ekosistem"* [Collection: Restoration of oil-contaminated soil ecosystems.]. Moscow, pp. 7-22.

Petrov A.A. 1984. *Uglevodorody nefti* [Hydrocarbons of oil]. Moscow, 264 p.

Pikovskii Iu.I. 1993. *Prirodnye i tekhnogennye potoki uglevodorodov v okruzhaiushchei srede* [Natural and technogenic flows of hydrocarbons in the environment]. Moscow, 208 p.

Savvinov G.N. 2007. *Ekologo-pochvennye komplekсы Iakutii* [Ecological and soil complexes of Yakutia]. Moscow, 312 p.

Svarovskaia L.I., Ovsianikova V.S., Guzniaeva M.Iu. 2004. Mass-spektrometriia dlia otsenki oksigenaznoi aktivnosti mikroorganizmov v protsessakh destruktzii nefti [Mass spectrometry for the assessment of the oxygenase activity of microorganisms in the processes of oil destruction]. *Tezisy dokladov VII konferentsii "Analitika Sibiri i Dal'nego Vostoka"* [Abstracts of VII conference reports "Analytics of Siberia and the Far East"], Novosibirsk, vol 1., p. 263.

Solnceva N.P. 1998. *Dobycha nefti i geohimija prirodnkh landshaftov* [Oil mining and geochemical transformation of landscapes]. Moscow, 376 p.

Uspenskii V.A., Radchenko O.A., Gorskaia A.I., Shishkova A.P. 1975. *Metody bituminologicheskikh issledovaniy* [Methods of bituminous research]. Leningrad, 123 p.

---

Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions. 2008. /Edited by Dennis M. Filler, Ian Snape and David L. Barnes. – Cambridge University Press, p. 273.

Foght J.M., Westlike D.W.S. 1992. Bioremediation of oil spills. – Spill Technol. Newslett, vol. 17, pp. 1-10.

*Статья поступила в редакцию: 03.05.2017 г.*

*После переработки: 19.10.2017 г*