

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.П. Хаустов, проф. РУДН, д-р геол.-мин. наук

М.М. Редина, зав. каф. РУДН, д-р экон. наук, доц.

Обосновывается необходимость изучения процессов миграции и трансформации нефтяных загрязнений окружающей среды. Анализируется история и современное состояние этого направления в России и за рубежом с учетом прогнозов научно-технического и технологического развития.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, нефтепродукты, трансформация, геологическая среда, исследования.

PERSPECTIVES OF THE STUDY ON THE TRANSFORMATION PROCESSES OF HYDROCARBON POLLUTIONS

A.P. Khaustov, Professor, RUPF, Ph.D. of Geology

M.M. Redina, Head of Chair, RUPF, Ph.D. of Geology, Assistant Professor

The necessity of investigation of migration and transformation of oil pollutions of the environment is justified. The analyses of history and modern state of this direction in Russia and in the world is shown, considering the forecast of scientific-technical development.

Keywords: oil pollution, oil products, transformation, geological environment, study.

Необходимость анализа процессов трансформации нефти и нефтепродуктов (НП) в окружающей среде (ОС) вызвана растущими масштабами загрязнения территорий в связи с ростом аварийности на объектах НГК и других отраслей экономики.

Техногенные отходы углеводородов (УВ) связаны с добычей, транспортом, переработкой и потреблением более сложных по химическому составу и более токсичных УВ-соединений. Масса техногенных отходов УВ не менее чем в 5 раз превышает естественное УВ дыхание планеты. Только аварийные потери составляют по разным оценкам от 3 до 5% от объема добываемой нефти. Учитывая российские объемы добычи (свыше 500 млн т), ежегодное загрязнение ОС оценивается около 25 млн т нефти и НП [4]. По официальным данным МЧС площадь загрязнения почв и грунтов НП в 2010 г. в России составила 44,7 тыс. га, а в 2011 г. — уже 71,5 тыс. га (прирост 60%).

По прогнозу Международного Энергетического Агентства, мировая потребность в первичных энергоресурсах увеличится в 2005–2030 гг. на 55%, среднегодовые темпы роста составят 1,8%. Спрос достигнет 17,7 млрд т нефтяного эквивалента. На долю угля, нефти и газа придется 84% от суммарного роста спроса в перспективе до 2030 гг. Таким образом, несмотря на активные действия многих стран по сохранению климата (энергосбережение и отказ от УВ-топлива), ожидать резкого падения потребления нефти и НП в ближайшее время вряд ли стоит. Дополнительным фактором, «поддерживающим» привлекательность именно этого вида энергоносителей, стали значительные экологические риски, связанные с атомной энергетикой. В условиях потребления значительного количества энергии и отсутствия возобновимых ресурсов энергетики УВ-топливо лишается «достойных» альтернатив. Это означает, что и поступление аварийных и «штатных» потерь нефти в ОС, к сожалению, будет продолжаться.

Еще одним мощным источником НП-поллютантов в ОС может стать разработка сланцев. Процессы получения сланцевого газа предусматривают термическое воздействие на пласт и мобилизацию УВ. Происходит образование супертоксичных поллютантов, в 3–4 раза превышающее таковое в современном традиционном УВ-сырье.

Только в 2011 г. Россия ратифицировала Конвенцию о стойких органических загрязнителях (СОЗ), которая была принята в Стокгольме еще в 1992 г. За этот период зарубежными исследователями достигнут значительный прогресс в области изучения этих опасных поллютантов. Отметим, что к этой категории загрязнителей безоговорочно были отнесены полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые по своей токсичности не только не уступают и таким супертоксикантам как диоксины, но и в некоторых случаях их превосходят. Их появление связано, не только со сжиганием НП, они могут генерироваться естественным путем. Тем не менее, процессы миграции и трансформации нефти и НП изучены крайне слабо, что затрудняет оценки и прогнозирование экологических рисков. В этой связи необходимо акцентировать внимание специалистов НГК и природоохранных служб на процессы трансформации и миграции УВ, в частности – появление супертоксикантов в ОС. Такой подход является базовым в современной мировой экологии и рациональном природопользовании.

Важнейший момент – оценка физико-химического и биологического преобразования НП в ОС за счет внутренних резервов (потенциала) природных компонентов и разработка на этой основе принципов экологического нормирования и ремедиации территорий [7, 11, 16]. Недооценка этих процессов приводит к значительному удорожанию работ по реабилитации ландшафтных компонентов и времени реализации различных технологий. Работы на полигонах в районе Усинской аварии проводились в течение 10 лет и позволили выявить проблемы в применении существующих технологий нефтесбора и ремедиации. При этом очень слабо учитывался потенциал самоочищения природных систем, который мог бы многократно повысить эффективность применяемых технологий [3, 13].

Авария на нефтяной платформе Deerpwater Horizon в Мексиканском заливе в 2010 г. наглядно показала, что даже при современных уровнях знаний об УВ-загрязнении совершаются грубейшие ошибки, приводящие к катастрофическим последствиям. Это, прежде всего, выбор крайне агрессивных технологий очистки с применением сильнейших диспергентов, а также применением биопрепаратов, действие которых недостаточно изучено для реальных условий.

Начало научных исследований трансформации и миграции НП в России датируется 60-ми годами XX века. В большей степени внимание уделялось валовым содержаниям НП в водах и почвах. На этой основе были разработаны нижние пороги концентраций, приводящие к угнетению биоты. В это же время были начаты исследования (В.Н. Флоровская, М.А. Глазовская, Н.П. Солнцева, Ю.И. Пиковский, Н.С. Касимов, А.А. Оборин, А.Н. Геннадиев, Б.В. Шабат и др.), которые выдвинули проблему трансформации НП в различных компонентах ландшафта в число приоритетных. Было выявлено, что возникают сложные органоминеральные комплексы, которые в конечном итоге могут быть *более токсичными, чем исходные субстанции*. Б.А. Бачуриным и Т.А. Одинцовой зафиксировано появление таких токсичных соединений как фталаты и хлорированные насыщенные УВ. Эти соединения практически не выводятся из пищевых цепей и представляют серьезную угрозу для биоты. Отдельное крупное направление – разработка и уточнение моделей миграции НП как многокомпонентных систем в почвах, грунтах зоны аэрации и подземных водах. Реальные процессы движения таких смесей во многом не соответствуют современным представлениям. Отсюда ошибки в прогнозных расчетах и низкая эффективность реабилитационных мероприятий. Недооценка процессов трансформации НП в моделях или, наоборот, их переоценка приводит к тому, что проводятся дорогостоящие мероприятия, эффект от них крайне мал. В тоже время, например, загрязнение почв и карстовых вод в результате аварий нефтепровода в 1993 г. (Иркутская обл.) сохраняется до настоящего времени. Таких «накопленных ущербов» для территории России и бывшего СССР можно привести не один десяток.

Исследования, проводимые специалистами вузов и научных организаций США представляют особый интерес в связи с длительной историей нефтедобычи в стране и пристальным вниманием к вопросам экологической безопасности. Один из наиболее интересных объектов – полигон Бемиджи (штат Миннесота), где с 1979 г. ведутся наблюдения за последствиями аварийного загрязнения ОС при разливе нефти. Результатами стали многочисленные исследования миграции и трансформации НП-загрязнений, разработка новых технологий реабилитации ОС, образовательные проекты. Также работы связаны с уточнением действующих общепризнанных моделей миграции НП-загрязнений в геологической среде, что позволяет избежать многомиллионных затрат на ликвидацию неадекватно оцененных последствий аварий [12, 13, 16].

Исследования в странах ЕС посвящены анализу поведения СОЗ в компонентах ОС. Одним из наиболее значительных результатов этих разработок стала подготовка и ратификация многими странами Стокгольмской конвенции. Многие исследования связаны также с ликвидацией УВ-загрязнений на территориях бывших промышленных и военных объектов. Весьма детальные исследования связаны с мониторингом и прогнозированием загрязнения геологической среды ПАУ (Университет Люнебурга и многие других научных центры ФРГ).

Отдельное направление в зарубежных исследованиях – *нормирование допустимых содержаний НП* в почвах и ГС. Эти разработки ведутся практически во всех странах Западной Европы, в Канаде, США. Результаты положены в основу комплекса документов, регламентирующих вопросы мониторинга СОЗ, УВ-загрязнений, нормирования их содержаний в компонентах ОС, обращения с НП в целом.

Научным коллективом под руководством Н.С. Огняника (Институт геологических наук НАН Украины) обобщен опыт моделирования поведения легких УВ в геологической среде, выбора средозащитных технологий, контроля содержаний данных компонентов в грунтах и подземных водах [1]. Коллективом под руководством В.М. Шестопалова (Национальный инженерный центр радио-гидрогеоэкологических полигонных исследований Украины) введены представления о зонах ускоренной фильтрации, что привело к появлению принципиально новых представлений о характере миграции радионуклидов (следовательно и УВ) в геологической среде. В основу этих разработок положены результаты многолетних исследований миграции радионуклидов после аварии на Чернобыльской АЭС.

Коллективом под руководством А.И. Кудельского (Белоруссия) проведены работы по изучению поведения НП-загрязнений на территориях военных полигонов в Центральной и Восточной Европе (Белоруссия, страны Прибалтики, ФРГ). Получены данные о характере миграции НП-загрязнений, вероятности их проникновения в горизонты подземных вод. Эта проблема также актуальна и для России и других стран СНГ в связи с реформированием армий. Белорусские ученые активно занимаются мониторингом подземных вод, в частности оценками вариаций содержания НП как одной из приоритетных проблем при контроле данных веществ.

Несмотря на повышенное внимание в мире к данной проблеме, в России до последнего времени эти вопросы традиционно не входили в число приоритетных при *управлении* качеством почвенно-земельных ресурсов, а также подземной гидросферы, несмотря на высочайшую актуальность и значимость проблем для экономики и социума. Утрата хозяйственно значимых ресурсов питьевых вод, почв и земель, недополучение продукции сельского хозяйства, затратность восстановительных мероприятий и др. сегодня стоит особенно остро [10].

В исследовании «Глобальная технологическая революция: 2020» (компания РЭНД), представлен вывод о том, что глобальная технологическая революция проявит себя наиболее существенным образом в сфере био- и нанотехнологий, в области новых материалов и в процессах информатизации. Отдельное место в перечне 16 технологий, которые уже в ближайшей перспективе будут оказывать значительное влияние на формирование *нового качества жизни*, отводится экологически чистым производственным процессам. Глобальные приоритеты учитывались при разработке *российского научно-технологического прогноза* [2]. *Рациональное природопользование* – одна

из наиболее перспективных сфер практического использования технологий. Предполагается, что «...исключительное значение приобретут технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи природных ресурсов, в т.ч. технологии рекультивации техногенно нарушенных территорий в зонах действия нефтегазовых комплексов... Актуальными направлениями научных исследований будут разработка ... методов мониторинга нефтегазовых месторождений ..., а также методов оценки и прогнозирования состояния земель и ландшафтов и допустимого антропогенного воздействия на них». Важнейший инструмент снижения риска природных и техногенных катастроф – *создание комплексной системы оценки рисков для здоровья населения от загрязнения ОС и системы интегрального мониторинга безопасности.*

По оценкам экспертов, наилучшие научные позиции по сравнению с ведущими странами Россия имеет в области «Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы», в том числе исследование роли биоразнообразия для обеспечения экологической безопасности. Несколько ниже уровень российских исследований в области предотвращения и снижения загрязнения ОС, переработки и утилизации техногенных образований и отходов; экологически безопасной разработки месторождений и добычи природных ресурсов и технологии снижения риска природных и техногенных катастроф. Наименее разработанная область – «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы». Подтверждение тому – проведенный нами поиск по базе данных esp@cenet (источники патентной информации 72 патентных ведомств мира) позволил получить лишь 2 российских описания изобретений по технологиям восстановления нефтезагрязненных сред. В тоже время, англоязычный запрос позволил получить около 200 описаний патентов на технологии ремедиации нефтезагрязненных сред (подземных вод, грунтов и др.) по данным зарубежных патентных ведомств, из них 9 – российские.

Учитывая актуальность и практическое значение исследований, связанных с нефтяными загрязнениями геологической среды (и сопредельных сред), а также высокую стоимость работ по восстановлению нарушенных сред, особый интерес представляют исследования, позволяющие установить источник загрязнения (с возможностью выявления возможного виновника). Для таких исследований необходимо использование данных о веществах-«маркерах», которые либо точно указывают на источник загрязнения (техногенный процесс или продукт), или позволяют установить «возраст» загрязнения. В качестве оптимальных маркерных веществ во многих исследованиях [5, 14–17] рекомендовано использование ПАУ. Возраст загрязнения, возможный источник загрязнения, степень преобразования исходного состава нефтяного загрязнения могут быть оценены по соотношениям концентраций различных изомеров ПАУ, а также исходных ПАУ и продуктов их трансформации.

Выработка практических мер по защите геологической среды от нефтезагрязнений основана на создании так называемых «дорожных карт» – комплексных программ действий по решению существующих проблем (рис. 1).

Отдельным блоком выделяются проекты нормативного обеспечения в сфере экологического нормирования, прогнозирования и менеджмента экологических рисков в случае УВ-загрязнений [6, 8–10 и др.]. Данные проекты не всегда рассматриваются как «дорожные карты», однако являются таковыми по своей сути и определяют весь дальнейший процесс планирования и реализации работ по предотвращению и/или ликвидации последствий загрязнений ОС. Среди наиболее удачных примеров практической реализации таких дорожных карт следует выделить проекты создания региональных нормативов УВ-загрязнений.

Как показывает опыт экологической реабилитации территорий, проекты восстановления нефтезагрязненных сред базируются на значительной информационной основе, требуют одновременного учета значительного перечня нормативных и законодательных требований, учета разнообразных условий геологической среды. В связи с этим эффективность выработки решений по реабилитации нефтезагрязненных сред может быть обеспечена за счет применения специализированных инструментов – экспертных систем. Так, в настоящее время коллективом

кафедры прикладной экологии РУДН в сотрудничестве со специалистами НПЦ по геологии (Беларусь) и Института гидрогеологии и геоэкологии (Казахстан) начата разработка методических основ экспертной системы по реабилитации геологической среды.

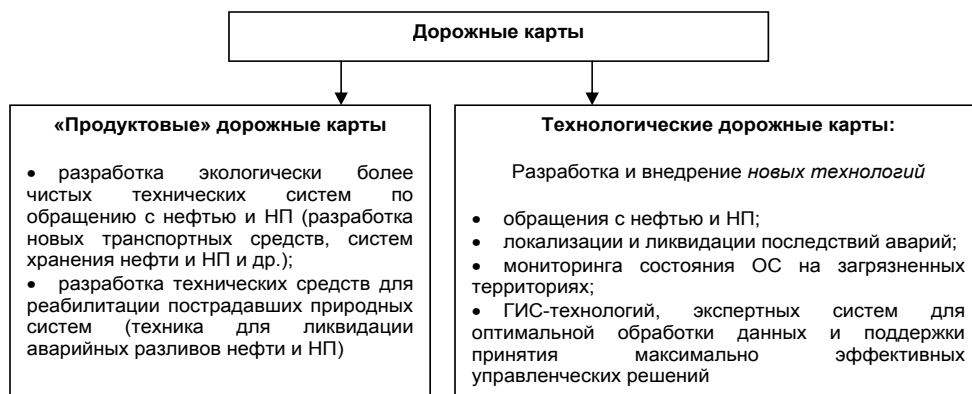


Рис. 1. Дорожные карты по проблемам защиты геологической среды

Заключение

Проведенный нами анализ отечественных и зарубежных разработок показал высокую востребованность исследований по тематике восстановления нефтезагрязненных сред. Применение результатов таких исследований наиболее перспективно для следующих «потребителей»: нефтегазовый комплекс; органов МЧС и МПР; компаний — разработчиков природоохранного оборудования и средств ликвидации аварий; учреждений профессионального образования.

Результаты исследований по трансформации углеводородов могут быть применены при:

- проектировании с учетом экологических требований (уточненных благодаря результатам проекта);
 - минимизации рисков аварий благодаря своевременной и эффективной подготовке сил и средств к локализации аварий, что позволит избежать вторичных загрязнений и отдаленных последствий аварий за счет их грамотной локализации;
 - создании новых технологий восстановления нефтезагрязненных сред с учетом современных подходов и лучших доступных технологий (в частности, на основе представлений о самоорганизации в геосистемах);
 - укреплении экологической безопасности деятельности объектов по добыче, подготовке, хранению и транспортировке нефти и НП;
 - эффективном восстановлении нарушенных компонентов ОС;
 - эффективной подготовке к локализации и ликвидации аварийных УВ-загрязнений (разработке Планов ликвидации аварийных разливов нефти, максимально учитывающих особенности потенциально нарушаемых территорий);
 - снижении социально-экологических рисков (рисков для здоровья персонала и населения в зонах влияния объектов, где ведется обращение с нефтью и НП);
 - создании эффективной системы экологического нормирования качества почв и состояния подземной гидросферы, включая нормативы допустимых остаточных содержаний нефти в почвах.
- Социальный эффект исследований заключается в минимизации социально-экологических рисков (рисков для здоровья персонала и населения в зонах влияния объектов, где ведется обращение с нефтью и НП).

Экологическая безопасность рассматривается как неотъемлемая составная часть национальной безопасности РФ. В связи с этим результаты исследования будут способствовать улучшению ситуации в данной области за счет более эффективного регулирования воздей-

ствий на ОС, минимизации экологических рисков, совершенствования подходов к экологическому проектированию и планированию ликвидации аварий.

Материал подготовлен при финансировании Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках работ по проекту ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» RFMEFI58414X0011.

Список литературы

1. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, А.Л. Брикс и др. К.: [АПН.], 2006, 278 с.
2. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу. Available at: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf>.
3. Рекомендации по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на почве. Газпром 2-1.3-285-2008 / Лещинский В.Б., Хаустов А.П., Редина М.М. и др. М.: ООО «Газпром экспо», 2009, 90 с.
4. Решение круглого стола в Комитете по экологии ООО «Деловая Россия» 17 июля 2012 г.
5. Ровинский Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф.Я. Ровинский, Т.А. Теплицкая, Т.А. Алексеева / Л.: Гидрометеиздат, 1988, 226 с.
6. Хаустов А.П. Устойчивость подземной гидросферы и основы экологического нормирования. М.: Изд-во ГЕОС, 2007, 175 с.
7. Хаустов А.П., Редина М.М. Геохимическая модель трансформации и индикации нефтепродуктов при их вертикальной миграции в ландшафтах / Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Докл. Всерос. научн. конф. Москва, 4–6 апреля 2012 г. М.: Географический факультет МГУ, 2012, с. 342–344.
8. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Изд-во «Дело», 2006, 544 с.
9. Хаустов А.П., Редина М.М. Производственный экологический мониторинг: Учеб. пособие. М.: РУДН, 2008, 502 с.
10. Хаустов А.П., Редина М.М. Проблемы планирования и предупреждения аварийных ситуаций на нефтепроводах // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обз. инф., 2011, вып. 2, с. 22–57.
11. Хаустов А.П., Редина М.М., Луценкова Е.О. Проблемы оценки трансформации углеводородных загрязнений при аварийных разливах // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2011, № 6, с. 8–13.
12. Delin G.N., Essaid H.I., Cozzarelli I.M., et al. Ground Water Contamination By Crude Oil. Available at: <http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/results/fact-sheet.pdf>.
13. St. Germain R. Your LNAPL Conceptual Site Model: It's Probably Wrong. Available at: <http://www.neiwpcc.org/tankconference/presentations/monday%20presentations/saintgermain.LNAPL.Monday.pdf>.
14. Khaustov A., Redina M. Justification of optimal methods of rehabilitation of geological environment at the leaks of oil products during their storage. SPE conference and exhibition. Available at: <https://getit.spe.org/thinclient/Transfer.aspx>; zip-PC_Users.exe.
15. Khaustov A., Redina M. Identification of Sources of Environmental Pollution at the Sites of Production, Storage and Transportation of Oil Using the PAH Indicator Ratios. SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, 12–14 November, Astana, Kazakhstan. Conference proceedings. Available at: <http://dx.doi.org/10.2118/172281-MS>.
16. Khaustov A.P., Redina M.M., Grabar A.V., Kanzafarova R.F. Contamination of geological environment (ground water) by toxic oil products. Conference on water observation and information system for decision Support (5.2012 Ohrid) Balwois. International Conference on water, climate and environment, 28 May–2 June 2012, Ohrid, Republic of Macedonia; edited by M. Morell, et al. Skopje: Faculty of civil engineering, 2012. Available at: <http://www.balwois.com/2012>.
17. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. Organic Geochemistry, 2002, vol. 33, pp. 489–515.

References

1. (2006) *Osnovy izucheniya zagryazneniya geologicheskoy sredy legkimi nefteproduktami*. N.S. Ognyanik, N.K. Paramonova, A.L. Briks i dr. [Bases of studying of pollution of the geological environment light oil products. N.S. Ognyanik, N.K. Paramonova, A.L. Brix, et al.]. APN. [NPA.], 278 p.
2. *Prognoz nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na dolgosrochnuyu perspektivu* [Forecast of scientific and technological development of the Russian Federation for long-term prospect]. Available at: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf>.
3. (2009) *Rekomendatsii po likvidatsii avariynykh razlivov nefii i nefteproduktov na pochve. Gazprom 2-1.3-285-2008*. Leshchinskiy V.B., Khaustov A.P., Redina M.M. i dr. [Recommendations about elimination of emergency oil spills and oil products on the soil. Gazprom 2-1.3-285-2008. Leshchinsky V.B., Haustov A.P., Redina M.M., et al.]. *OOO «Gazprom ekspozitsiya»* [JSC GazpromExpo]. Moscow, 90 p.
4. *Reshenie kruglogo stola v Komitete po ekologii OOO «Delovaya Rossiya» 17 iyulya 2012 g.* [The solution of a round table in Committee on ecology of JSC Delovaya Rossiya on July 17, 2012].
5. Rovinskiy F.Ya. (1988) *Fonovyy monitoring politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov*. Red. F.Ya. Rovinskiy, T.A. Teplitskaya, T.A. Alekseeva [Background monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons. Ed. F.Ya. Rovinsky, T.A. Teplitskaya, T.A. Alekseeva]. *Gidrometeoizdat* [Gidrometeoizdat], St. Petersburg, 226 p.
6. Khaustov A.P. (2007) *Ustoychivost' podzemnoy gidrosfery i osnovy ekologicheskogo normirovaniya* [Stability of underground hydrosphere and the basics of environmental regulation]. *Izd-vo GEOS* [GEOS]. Moscow, 175 p.
7. Khaustov A.P., Redina M.M. (2012) *Geokhimicheskaya model' transformatsii i indikatsii nefte-produktov pri ikh vertikal'noy migratsii v landshaftakh. Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv (k 100-letiyu M.A. Glazovskoy)*. *Dokl. Vseross. nauchn. konf. Moskva, 4–6 aprelya 2012 g.* [Geochemical model of transformation and display of oil-based products in their vertical migration in the landscape. Landscape Geochemistry and Soil Geography (the 100th anniversary of the Glazov MA). Dokl. Vseross. Scien. Conf. Moscow, 4–6 April 2012]. *Geograficheskiy fakul'tet MGU* [Geographic faculty partments Moscow State University]. Moscow, pp. 342–344.
8. Khaustov A.P., Redina M.M. (2006) *Okhrana okruzhayushchey sredy pri dobyche nefii* [Environmental protection in oil production]. *Izd-vo «Delo»* [Publishing House «Delo»]. Moscow, 544 p.
9. Khaustov A.P., Redina M.M. (2008) *Proizvodstvennyy ekologicheskiy monitoring: Ucheb. posobie* [Industrial environmental monitoring: Proc. Allowance]. *RUDN* [People's Friendship University]. Moscow, 502 p.
10. Khaustov A.P., Redina M.M. (2011) *Problemy planirovaniya i preduprezhdeniya avariynykh situatsiy na nefteprovodakh. Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov. Obz. inf.* [Problems of planning and prevention of accidents on oil pipelines. Problems of the Environment and Natural Resources. Actual situation review inf.], vol. 2, pp. 22–57.
11. Khaustov A.P., Redina M.M., Luschenkova E.O. (2011) *Problemy otsenki transformatsii uglevodorodnykh zagryazneniy pri avariynykh razlivakh. Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Problems of estimation of transformation of hydrocarbon contamination in emergency spills. Protection of the environment in the oil and gas sector], no. 6, p. 8–13.
12. Delin G.N., Essaid H.I., Cozzarelli I.M., et al. *Ground Water Contamination By Crude Oil*. Available at: <http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/results/fact-sheet.pdf>.
13. St. Germain R. *Your LNAPL Conceptual Site Model: It's Probably Wrong*. Available at: <http://www.naiwpc.org/tanksconference/presentations/monday%20presentations/saintgermain.LNAPL.Monday.pdf>.
14. Khaustov A., Redina M. *Justification of optimal methods of rehabilitation of geological environment at the leaks of oil products during their storage*. SPE conference and exhibition. Available at: <https://getit.spe.org/thinclient/Transfer.aspx?zip> (архив PC_Users.exe).
15. Khaustov A., Redina M. *Identification of Sources of Environmental Pollution at the Sites of Production, Storage and Transportation of Oil Using the PAH Indicator Ratios*. SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, 12–14 November, Astana, Kazakhstan. Available at: <http://dx.doi.org/10.2118/172281-MS>.
16. Khaustov A.P., Redina M.M., Grabar A.V., Kanzafarova R.F. *Contamination of geological environment (ground water) by toxic oil products*. Conference on water observation and information system for decision Support (5.2012 Ohrid) Balwois. International Conference on water, climate and environment, 28 May–2 June 2012, Ohrid, Republic of Macedonia; edited by M. Morell, et al. Skopje: Faculty of civil engineering, 2012. Available at: <http://www.balwois.com/2012>.
17. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R. et al. *PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition*. *Organic Geochemistry*, 2002, vol. 33, pp. 489–515.