

Прогноз техногенных рисков загрязнения геологической среды нефтяными углеводородами

А.П. Хаустов (Москва, Россия)
redina@yandex.ru

доктор геол.-мин.
наук, профессор;
профессор кафедры
прикладной экологии Российского
университета дружбы народов (РУДН)

М.М. Редина

доктор экон. наук;
заведующая каф. прикладной
экологии Российского университета
дружбы народов (РУДН)

**Анализируются
важнейшие проблемы,
возникающие при моделировании
распространения нефтепродуктов
в случае аварийного загрязнения
и прогнозировании экологических
рисков загрязнения геологической
среды. Рассмотрены основные
ошибки, возникающие при
построении моделей
распространения углеводородных
загрязнений геологической среды.
Представлены современные
взгляды на миграционную
способность и возможности
трансформаций нефти
и нефтепродуктов при
контактах с компонентами
окружающей среды.**

Материалы и методы

Анализируется обширная современная отечественная и зарубежная литература по гидрогеологическому моделированию поведения нефтяных загрязнений в окружающей среде. Использован собственный опыт и результаты прежних исследований авторов.

Ключевые слова

риск, углеводороды, нефтепродукты, геологическая среда, трансформация, моделирование

Forecast of anthropogenic risks
of pollution of geological environment
with petroleum products

Authors

Aleksandr P. Khaustov (Moscow, Russia)

dr. Geol., professor; professor of the chair of
applied ecology of the Peoples' Friendship
University of Russia

Масштабное углеводородное загрязнение окружающей среды (ОС) в результате потерь нефти и нефтепродуктов (НП) отмечается во многих природоохранных отчетах и сообщениях прессы. Такая ситуация обуславливает необходимость анализа рисков, возникающих для различных компонентов ОС, а также оценки социально-экономических и экологических ущербов, связанных с распространением и трансформацией углеводородных загрязнений ОС. Анализ рисков традиционно основывается на идентификации всех их составляющих:

- вероятности экологически значимого неблагоприятного события (например, вероятность аварийного разлива),
- вероятности возникновения ответной реакции у «жертвы» данного события (например, риск проникновения НП в подземные воды);
- масштабов последствий (в данном случае — экологический ущерб компонентам ОС и социально-экономический ущерб).

Роль двух последних категорий ущербов, как составного компонента рисков, особенно возрастает в связи с выполнением штрафных санкций и формированием обязательного страхования опасных производственных объектов.

Особенности процессов трансформации нефтяного загрязнения в ОС и миграции продуктов преобразования непосредственно определяют перспективы восстановления нарушенных земель и риски достижения опасными компонентами уязвимых компонентов ландшафта либо критических объектов природопользования (например, эксплуатируемых горизонтов подземных вод). Крайне актуальной является также покомпонентная оценка составляющих нефти и углеводородных соединений в связи со значительными различиями их токсичности, степени и времени их биологической и химической деградации в компонентах ОС. Эти вопросы не находят должного освещения в научной и нормативной литературе. До настоящего времени преобладают примитивные взгляды на процессы трансформации углеводородов (УВ), а значит — искусственное занижение реальных рисков.

Выбор технологий восстановления нефтезагрязненных земель чаще всего основывается на сложившемся опыте работ и требованиях действующих нормативных документов, а не на данных экологического мониторинга. Во многих случаях эффект, достигаемый в ходе ремедиационных работ, не совпадает с ожиданиями. Например, восстановление качества компонентов ОС в районе Усинской аварии 1994–95 гг. продолжается до настоящего времени. Это позволяет предположить, что средства на ликвидацию последствий аварии намного превысят заявленные ранее затраты (6 млрд. руб. на полный комплекс работ). Причина такой ситуации — недоучет специфических особенностей конкретного

загрязненного ландшафта и его отдельных компонентов, а также свойств самого загрязнителя. Приведенные цифры свидетельствуют о явной недооценке экологической составляющей в оценке величин риска и упрощенном представлении о взаимодействиях в системе «НП-компоненты ОС».

Однако существующие методы анализа рисков (даже трехкомпонентные модели) не способны дать удовлетворительный прогноз состояния почв, грунтов, подземных вод при попадании в них УВ. Анализ отечественного и зарубежного опыта позволил выделить следующие основные проблемы прогнозирования и оценок рисков УВ-загрязнений.

Прежде всего, прогноз развития ситуации после попадания нефти или НП осложняется тем, что объемы потерь при любых операциях по обращению с ними крайне редко бывают точно количественно оценены, как и при многих аварийных разливах. Это связано с тем, что владельцы объектов, на которых ведется обращение с НП, стараются заминимизировать потери. Так, например, ОАО «Коминетфть», владелец Возейского головных сооружений, первоначально оценивало потери нефти на Усинской аварии всего в 14 тыс. т. После проведения специализированных оценочных работ эта оценка выросла до 103 тыс. т, из которых около 18 тыс. т НП было сброшено в р. Колва. Кстати, до настоящего времени нет достоверной оценки величины экологического ущерба от аварии. Скорее всего, он оценивается десятками млрд. руб.

Еще одним примером могут быть многочисленные оценки объемов линз НП в районах нефтебаз, хранилищ авиатоплива, военных объектов. Для одних и тех же объектов разными авторами предлагаются оценки, различающиеся в несколько раз (Грозненский очаг загрязнения: размеры линзы оцениваются от 15 млн. т до 1 млн. т).

Весьма неточны и трудно применимы на практике количественные оценки баланса НП, поступающих в ОС [1, с. 226]. В частности, в качестве составляющей в уравнение введена интенсивность биохимических и физико-химических процессов деградации нефти. Однако на практике детальные оценки данных параметров серьезно осложнены необходимостью учета специфики природных условий в конкретных ландшафтах, загрязняемых нефтью, и каждый раз требуют проведения детальных исследований на местности [2; 3, с. 342]. Такие работы, по опыту той же Усинской аварии, требуют привлечения серьезной научной базы, современных технологий, специальной техники и должны быть обеспечены детальными физико-химическими и микробиологическими определениями.

Проблемы прогноза загрязнения геологической среды также связаны с качеством применяемых моделей массопереноса в гомогенных и гетерогенных средах. Они справедливы для растворов, но в ряде случаев

принципиально неприменимы к описанию формирования линз НП и движения их на поверхности грунтовых вод. В общем виде проблемы моделирования как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях в зонах аэрации и насыщения можно свести к следующей логической схеме (рис. 1).

В своем большинстве страдают излишним «примитивизмом» модели, применяемые при прогнозах движения УВ как в насыщенных, так и в ненасыщенных водой средах (толщах). Иногда такие упрощения приводят к существенным материальным затратам при ликвидации линз НП. Так, например, незнание процессов трансформации УВ и формирования геохимической зональности привело к тому, что при ликвидации нефтяного загрязнения методом откачек произошла искусственная трансформации конфигурации зоны загрязнения и, как следствие, развитие процессов вторичного загрязнения из горных пород. Такие ошибки происходят повсеместно, а сами ремедиационные работы удлиняются на десятилетия. Это обусловлено незнанием механизма фазовых переходов, которые определяются следующими ведущими процессами:

- в атмосфере — испарением и химическим окислением;
- в почвах — биоокислением и биоразложением;
- в породах — сорбцией, диффузией;
- в капиллярной зоне — формированием заземленных форм УВ;
- в зоне насыщения — растеканием по линзе и миграцией внутри в виде растворенных форм.

Огромное значение имеют возраст нефтяного загрязнения, а также анизотропность движения и тип загрязнителей. Необходимо создание принципиально новых моделей, которые учитывали бы перечисленные выше процессы. Дифференциация подходов к моделированию поведения легких (LNAPL — легкие несмешивающиеся с водой жидкости) и тяжелых (DNAPL — тяжелые/плотные несмешивающиеся с водой жидкости) УВ, а также модель межфазовых взаимодействий в трехфазной системе детально рассмотрена в работе [4, с. 350–362]. До настоящего времени ведутся дискуссии о количестве возможного испарения НП, глубины его влияния, формах испаряющихся УВ-соединений, токсичных дозах и др. Существующие методики расчета испарения дают огромные различия, что в свою очередь препятствует проведению детальных расчетов

по оценке рисков ущербов компонентам ОС, прежде всего атмосфере. В то же время, недоучет испарения НП позволяет «сократить» объемы излишних НП и, соответственно, штрафные санкции. Для некоторых легких НП объем испарившихся УВ может составить 1/3 от исходного количества.

Значительное упрощение и, как следствие, утрата точности моделей (следовательно и ценности получаемых результатов) происходит в результате недоучета процессов, происходящих после попадания нефти и НП в ОС. Прежде всего, недооценивается роль почвенного покрова как мощного барьера, на котором накапливаются и подвергаются деградации многие соединения, входящие в исходный состав нефти и НП. Упрощенное представление о проникновении нефти и НП при вертикальной миграции искажает количественные оценки вероятности присутствия в загрязняемых грунтах конкретных продуктов трансформации нефти и не позволяет прогнозировать саму вероятность достижения теми или иными опасными компонентами (например ПАУ) отдельных горизонтов. Так, излишне примитивно традиционное представление распределения НП в грунтовой толще. По мнению Р. Ст. Джермана [5], подобная «приверженность к представлению о плавании легких несмешивающихся с водой жидкостей на поверхности грунтовой воды» или модели «блина» стоила промышленности огромных денежных сумм, времени и моральных потерь за десятилетия...».

Крайне важны, но с трудом поддаются прогнозу для естественных (не лабораторных) условий процессы биодеградации НП в естественных условиях. Несмотря на высочайшую актуальность проблемы, оценки базируются чаще всего на модельных лабораторных исследованиях либо использовании аналогий. При этом роль биодеградации в разрушении отдельных компонентов НП может оказаться ведущей: по опыту исследований на специализированном полигоне Бимиджи (США), более 90% моноароматических соединений (бензол, ксилол, толуол, этилбензол) подверглось разложению именно при участии биоты [6].

С этих позиций представляется актуальным сопоставление УВ по их способности к биодеградации с выделением свойств токсичности (табл. 1).

До настоящего времени в отечественных моделях и оценках УВ-загрязнения недооцениваются процессы формирования горизонтальной геохимической зональности в зоне

Margarita M. Redina

dr. Econ. (PhD), associate professor of the chair of applied ecology of the Peoples' Friendship University of Russia

Abstract

The main problems of modeling of distribution of petroleum products at hazardous pollution and a forecast of environmental risks of geological environment pollution are considered. The main mistakes of modeling of distribution of hydrocarbon pollutions are analyzed. The modern approaches to estimation of migration ability and perspectives of transformation of oil and petroleum products at the contact with environment components are presented.

Materials and methods

An extensive contemporary domestic and foreign literature on hydrogeological modeling of the behavior of oil pollution in the environment is analyzed. The own experience and results of previous studies of the authors is used.

Results

The main problems occurring at modeling for the forecasting of the behavior of petroleum pollution are identified, which are consequently determine the accuracy of risk estimations

Conclusions

The main problems occurring at modeling for the forecasting of the behavior of petroleum pollution are identified, which are consequently determine the accuracy of risk estimations

Keywords

risk, hydrocarbons, petroleum products, geological environment, transformation, modeling

References

1. Ognyanik N.S., Paramonova N.K., Briks A.L. at al. *Osnovy izucheniya zagryazneniya geologicheskoy sredy legkimi nefteproduktami. [Basics of the study of pollution of geological environment with light petroleum products]* Kiev: A.P.N., 2006, 278 p.
2. Pikovskiy Yu.I. *Prirodnye i technogennye potoki uglevodorodov v okruzhayushey srede [Natural and anthropogenic hydrocarbon flows in the environment]* Moscow: Moscow State University Publishing house, 1993, 207 p.
3. Khaustov A.P., Redina M.M. *Geokhimicheskaya model transformatsii i indikatsii nefteproduktov pri ih vertikalnoy migratsii v landshaftah. Geokhimiya i geographia pochv, Materials of scientifically conference [Geochemical model of the transformation and indication of petroleum products at their vertical migration in landscapes. Geochemistry and geography of soils, Materials of scientifically conference]* Moscow, 4-6 April 2012. Moscow: Geographical Faculty of MSU, 2012. pp. 342-344.

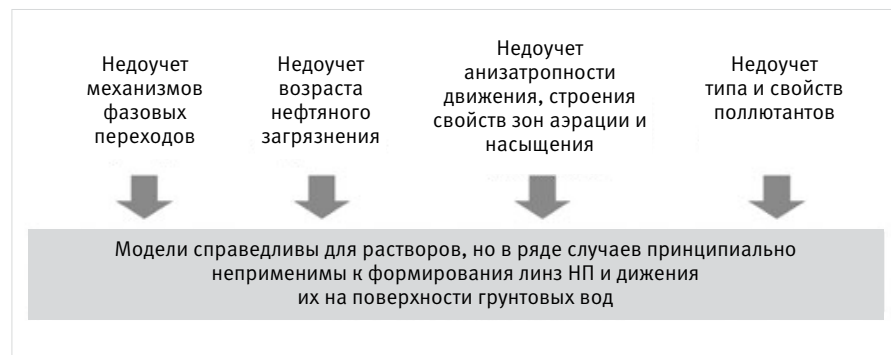


Рис. 1 — Проблемы построения моделей массопереноса УВ в гомогенных и гетерогенных средах

4. Rumynin S.I., Sindalovsky L.I. *Issledovanie modelirovaniya migratsii v podzemnoy gidrosfere ugevodородnykh zhidkostey v svyazi s zagryazneniem presnykh podzemnykh vod. Resursy podzemnykh vod: sovremennyye problemy izucheniya i ispolzovaniya. [Study of the modeling of liquids migration in the underground hydrosphere in connection with the pollution of fresh underground water. Resources of underground water: modern problems of the study and use] Materials of the international scientifically conference 13-14.05.2010: 100 anniversary of Kudelin B.I. Moscow: MAKS-Press, 2010, pp. 350-362.*
5. St. Germain R. *Your LNAPL Conceptual Site Model: It's Probably Wrong. [Your LNAPL Conceptual Site Model: It's Probably Wrong.] available at: <http://w.neiwpc.org/tankconference/presentations/monday%20presentations/saintgermain.LNAPL.Monday.pdf>.*
6. Delin G.N., Essaid H.I., Cozzarelli I.M. and others. *Ground Water Contamination By Crude Oil. available at: <http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/results/fact-sheet.pdf>.*
7. Kodina L.A. *Geokhimicheskaya diagnostika nefryanogo zagryazneniya. Vosstanovlenie neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem [Geochemical diagnostic of the oil pollution. Regeneration of oil and gas soil ecosystems] Moscow, Nauka publishing house, pp. 112-122.*
8. Bachurin B.A., Odintsova T.A. . *Otkhody gorno-obogatitel'nogo roizvodstva kak istochniki emissii organicheskikh pollutantov. Gornyy informatsionno-analiticheskyy bulletin'. [Wastes of mining and processing plants as sources of emissions of organic pollutants. Mining Information and Analytical Bulletin] Moscow, Moscow state mining university publishing house, 2009, issue 7, pp. 374-380.*
9. Khaustov A.P., Redina M.M., Luschenkova E.O. *Problemy otenki transformatsii ugevodородnykh zagryaznenii pri avariinykh razlivakh Zashchita okruzhayushey sredy v neftegazovom komplekse [Problems of the estimation of oil pollutants transformation at the accidental oil spills. Environment protection in oil and gas complex] 2011, issue 6, pp. 8-13.*
10. Khaustov A.P., Redina M.M., Kalabin G.A. *Problemy formirovaniya kachestva presnykh ppodzemnykhvod pri ugevodородnom zagryaznenii. Pit'evye podzemnye vody. Izuchenie, ispolzovanie I informatsionnye technologii [Problems of the formation of the quality of fresh underground water at the oil pollution. Drinking underground water: study, usage and IT] Materials of the international scientifically and practically conference 18-22.04.2011. Part 3. Moscow region, Zeleny, All-Russian Research Institute for Hydrogeology and Engineering Geology, 2011. pp. 17-33.*

насыщения. Формирование зоны восстановительных условий приводит к появлению аномальных концентраций таких металлов как Mn, Fe, газа метана, а также ряда трансформантов (химических соединений органической природы) с повышенной токсичностью (рис. 2).

Особое внимание следует уделить химическим соединениям с повышенной токсичностью. Например, принципиально новым является обнаружение в отходах нефтесодержащей промышленности сложных эфиров фталевой кислоты (от $C_{16}H_{22}O_4$ до $C_{32}H_{54}O_4$). Эти соединения хорошо растворимы в воде, поэтому активно мигрируют с нисходящими потоками подземных вод, достигая зоны насыщения. Образование фталатов в окислительных условиях связывают с ароматическими структурами. Так, в Чашкинской нефти фталатных структур может содержаться до 20% и более, а в водных вытяжках загрязненных грунтов — от 20 до 86% [8, с. 378]. Они легко проникают с растворами в организм и усваиваются в жировых отложениях. Фталатная структура отличается высокой биохимической стойкостью и обнаруживается практически во всех средах. Считается, что гео-фталаты могут являться наиболее устойчивой формой существования бензолного кольца в органическом веществе.

Кроме фталатов зафиксированы хлорпарафины, значительная часть которых способна к эмиссии в сопредельные среды. Наиболее уязвимой по отношению к ним является гидросфера, куда переходит до 10% от их исходного содержания в грунтах. В результате достигаются концентрации даны соединения до 0,47 мг/дм³ [8, с. 380].

Весьма важной проблемой при прогнозировании рисков нефтяных загрязнений геологической среды является отсутствие надежных методов экстракции и аналитических определений. В частности, для алифатических УВ степень извлечения из образца может составлять 85%, для ароматических — всего 20%. Очевидно, что столь низкие показатели экстрагирования не позволяют получать удовлетворительные оценки концентраций загрязнителей, которые представляют наибольший интерес. При этом каждая из изучаемых сред имеет свою специфику удерживающей (сорбционной) способности

по отношению к УВ различных типов.

Также проблематична идентификация НП по признакам природного и антропогенного генезисов [3, с. 343; 10, с. 17–33]. Такие реперные оценки необходимы для определения естественных уровней загрязненности и, следовательно, нормально переносимых природными комплексами. Мешающим фактором, иногда приводящим к серьезным ошибкам, является присутствие в водных растворах, особенно в верхней части зоны аэрации, так называемых псевдо-НП. Это могут быть битумоиды, выщелоченные из торфяных или гумусовых почв, входящие в группу ПАУ. Считается, что их присутствие свидетельствует о техногенной природе загрязнения, они активно растворяются гексаном и другими органическими растворителями. Эти вещества входят в сумму НП, повышая их валовые концентрации. Поэтому крайне важно найти удачные критерии деления на нефтоидную (естественную) и нефтидную (пирогенную) составляющие. Для этих целей традиционно предлагаются индексы техногенности, пирогенности, соотношения ПАУ различного генезиса: соотношение суммы пирена с флуорантеном (они имеют преимущественно техногенное происхождение) к сумме хризена с фенантеном (имеют природный генезис). При значении более 0,5 в составе техно-генных соединений преобладают пирогенные ПАУ. Предложенное соотношение чрезмерно примитивно и дает большие погрешности при идентификации истинно техногенных УВ и природных. Анализ многочисленных данных об уровнях концентраций индивидуальных ПАУ в различных средах показал слабую чувствительность данных индексов и в ряде случаев дал ошибочные оценки.

Таким образом, в настоящее время отсутствуют адекватные методики оценки экологических последствий НП-загрязнений [3, с. 344; 10, с. 12–13]. Необходима разработка системы надежных индикаторов с учетом трансформации НП и образования новых форм соединений с природными субстратами, с оценкой их токсичности и времени существования в компонентах ландшафтов [2]. Перечисленные проблемы необходимо учитывать при организации мониторинга на нефтезагрязненных территориях, при выборе оптимальных технологий

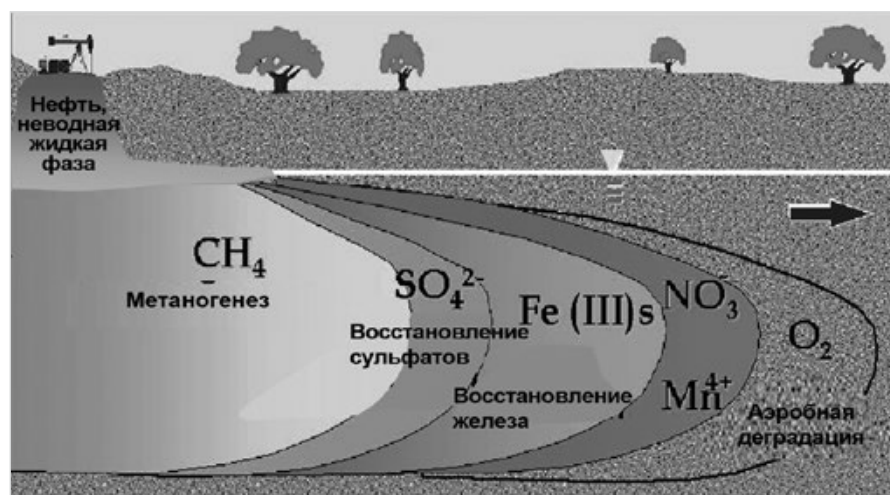


Рис. 2 — Латеральная геохимическая зональность УВ-загрязнения в грунтовых водах (по [8], с изменениями)

восстановления природных комплексов, а также при оценке рисков попадания приоритетных для контроля веществ (прежде всего супертоксикантов — ПАУ и др.) в подземные воды.

Сам по себе анализ рисков — один из важнейших этапов для современных процедур экологического сопровождения проектов и оптимизации мероприятий по восстановлению геологической среды. Корректная оценка рисков (как вероятностно, так и финансовой их составляющей) — залог адекватной оценки

инвестиционных проектов по эксплуатации ресурсов углеводородов. В итоге достоверный прогноз рисков загрязнения геологической среды на объектах добычи, транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов является необходимым инструментом принятия решений как в штатном режиме объектов, так и на случай аварийных ситуаций.

Итоги

Идентифицированы основные проблемы, возникающие при создании моделей в целях

прогнозирования поведения нефтяных загрязнений и, соответственно, определяющие точность оценок рисков.

Выводы

Современные прогнозные модели отличаются невысокой точностью, а принятые упрощения значительно искажают результаты. Необходимо разработка новых моделей в целях прогноза техногенных рисков для геологической среды и идентификации экологических и социально-экономических ущербов.

Группа	Отношение к воздействию микробов	Степень биodeградации, % к исходному содержанию	Компоненты нефти	Токсичность	Примечания
I	Высокочувствительные	80–100	н- и изоалканы	Токсическое действие сокращается с ростом цепи УВ. Наркотическое действие. На примере н-гексана – нейро-, гепато- и нефротоксикант, раздражитель глаз и кожи, бронхосуживающее действие	Разлагаются сапрофитными микробактериями, псевдомонадами, некоторыми дрожжами и грибами Изоалканы: способность к биоразложению уменьшается с увеличением разветвленности цепи
II	Чувствительные	60–80	Циклоалканы (5, 6 колец), моноарены, s-ароматика	Моноарены: повышение уровня холестерина, депрессант, нейро-, кардио-, гепатотоксичность, галлюциноген; бронхосуживающее действие	Циклоалканы разлагаются теми же микроорганизмами, но менее активно поддаются разложению. Низкомолекулярные ароматические УВ: при высокой концентрации могут быть опасны для микроорганизмов. Разлагаются небольшим количеством микроорганизмов, преимущественно родами <i>Nocardia</i> и <i>Pseudomonas</i>
III	Умеренно чувствительные	45–60	Циклоалканы (2, 3 кольца), ди- и триарены	Арены – клеточные яды: при попадании в клетку нарушают проницаемость мембран, блокируют действие ряда ферментов	Разлагаются очень небольшим числом микроорганизмов: бактерии – представители родов – <i>Nocardia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i> и др., а также некоторые грибы
IV	Устойчивые	30–45	Тетраарены, нафтеноарены	По отношению к микроорганизмам слабо изучена	ПАУ — слабо подвержены деградации; по опытам поддаются разложению цианобактериями <i>Phormidium tenuissimum</i> , <i>Synechocystis minuseula</i> и <i>Synechococcus elongates</i>
V	Высокоустойчивые	0–30	Пентаарены, асфальтены, смолы	По отношению к микроорганизмам слабо изучена	ПАУ: слабо подвержены деградации. Смолы, асфальтены: слабо подвергаются деструкции (годы); на примере аварии в Керченском проливе: биодеструкция микроорганизмами родов <i>Achromobacter</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Shewanella</i> , <i>Kocuria</i>

Таб. 1 — Классификация компонентов нефти по их способности к биodeградации (по [7], с дополнениями)

Список использованной литературы

- Огняник Н.С., Парамонова Н.К., Брикс А.Л. и др. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: А.П.Н., 2006. 278 с.
- Пиковский Ю.И., Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: МГУ, 1993. 207 с.
- 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.
- Румынин В.Г., Синдаловский Л.И. Исследование моделирования миграции в подземной гидросфере углеводородных жидкостей в связи с загрязнением пресных подземных вод. // Ресурсы подземных вод: современные проблемы изучения и использования: Матер. междунар. научн. конф. М., 13-14.05.2010: К 100-летию со дня рожд. Куделина Б.И. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 350–362.
- St. Germain R. Your LNAPL Conceptual Site Model: It's Probably Wrong. available at: <http://w.neiwpcc.org/tanksconference/presentations/monday%20presentations/saintgermain.LNAPL.Monday.pdf>.
- Delin G.N., Essaid H.I., Cozzarelli I.M. and others. Ground Water Contamination By Crude Oil. available at: <http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/results/fact-sheet.pdf>
- Кодина Л.А. Геохимическая диагностика нефтяного загрязнения // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 112–122.
- Бачурин Б.А., Одинцова Т.А. Отходы горно-обогатительного производства как источники эмиссии органических поллютантов // Горный информационно аналитический бюллетень. М.: МГТУ, 2009. №7. С. 374–380.
- 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.
- Хаустов А.П., Редина М.М., Калабин Г.А. Проблемы формирования качества пресных подземных вод при углеводородном загрязнении «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии». Материалы междунар. науч.-практ. конф. 18-22.04.2011. Часть 3. Московская область, п. Зеленый: Всеингео, 2011. С. 17–33.