

Ростовский государственный университет

На правах рукописи



Кузнецов Андрей Николаевич

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЯНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону

2005

Работа выполнена на кафедре физической географии, экологии и охраны природы Ростовского государственного университета

Научный руководитель: доктор географических наук,
профессор **Федоров Ю.А.**

Официальные оппоненты: доктор географических наук
Коробов В.Б.

кандидат химических наук,
доцент **Преденна Л.М.**


Ведущая организация: Ростовский-на-Дону филиал
Российского государственного
гидрометеорологического уни-
верситета

Защита состоится 27 декабря 2005 года в 15⁰⁰ часов на заседании Диссертационного совета Д 212 208.12 при Ростовском государственном университете по адресу: 344090, г Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, геолого-географический факультет РГУ, ауд 210.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке Ростовского государственного университета по адресу: 344006, г Ростов-на-Дону, ул Пушкинская, 148.

Автореферат разослан 25 ноября 2005 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
к.г.н., доцент



Т.А. Смагина

2006-4
29372

2261145
3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Огромные масштабы добычи, транспортировки и использования нефти и нефтепродуктов на протяжении многих десятилетий обусловили широкое распространение нефтяного загрязнения. В наибольшей степени его влиянию подвержены водные объекты суши, эстуарии, прибрежные и внутриконтинентальные акватории Мирового океана. Именно здесь, как правило, сосредоточены основные источники нефтяного загрязнения, а также происходит аккумуляция поллютантов, поступающих с водосборных площадей суши. В связи с этим, особую актуальность приобретают исследования природных процессов, обеспечивающих трансформацию нефтяного загрязнения в водных экосистемах и определяющих их способность к самоочищению в условиях антропогенного воздействия.

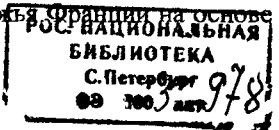
В научной литературе имеется большой объем информации о закономерностях трансформации нефтяных соединений в водной среде. Однако эти сведения получены, главным образом, на основе лабораторных экспериментов или кратковременных наблюдений в природных условиях. Кроме того, в подобных опытах, как правило, изучаются отдельные лабильные углеводороды или легкие нефтяные фракции. В то же время, имеется очень мало данных о трансформации в реальных водных объектах нефти как единого целого, содержащей не только легкоокисляемые соединения, но и трудно поддающиеся распаду полиароматические углеводороды, смолы и асфальтены.

Объект и предмет исследования. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу результатов многолетних исследований в зоне нефтяных разливов на реках Ростовской области и атлантическом побережье Франции, а также в районе судоходных каналов в Таганрогском заливе Азовского моря, где в последние годы отмечается устойчивый рост объемов нефти, перевозимой водным транспортом.

Цель и задачи. Целью настоящей работы является установление основных закономерностей трансформации нефтяного загрязнения в водных экосистемах и зависимости этого процесса от факторов окружающей среды.

Для достижения цели диссертационного исследования были поставлены следующие задачи:

1. Обобщить и проанализировать имеющийся материал о составе и свойствах нефти и нефтепродуктов, источниках и масштабах нефтяного загрязнения гидросферы, факторах и процессах его трансформации в водной среде.
2. Выявить основные закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения в речных экосистемах на основе результатов многолетних природных наблюдений за изменением компонентного состава разлившейся нефти в воде и донных отложениях рек Родионово-Несветайского района Ростовской области.
3. Установить закономерности трансформации нефтяного загрязнения в литоральных экосистемах атлантического побережья Франции на основе анализа



изменения компонентного состава разлившегося мазута в пляжевых отложениях и на скалах приливо-отливной зоны с течением времени.

- 4 Осуществить сравнительный анализ распределения и соотношения основных нефтяных компонентов в донных отложениях судоходных каналов и районов дампинга грунта в Таганрогском заливе Азовского моря с учетом различия природных условий и источников загрязнения.
- 5 На основе выявленных закономерностей трансформации нефти и нефтепродуктов определить зависимость динамики этого процесса от факторов окружающей среды и разработать принципы классификации аквальных комплексов по их способности к самоочищению.

Материалы и методы. В основу диссертации положены результаты многолетних натуральных наблюдений за изменением содержания и компонентного состава нефтяного загрязнения в воде и донных отложениях водотоков Родионово-Несветайского района Ростовской области, атлантического побережья Франции (департамент Атлантическая Луара), судоходных каналов и зон дампинга грунтов дноуглубления в Таганрогском заливе Азовского моря. Данные исследования проводились в период 1993 – 2004 гг. сотрудниками кафедры физической географии, экологии и охраны природы РГУ и коллективом ученых Ведущей научной школы России, возглавляемой профессором Ю.А. Федоровым, при непосредственном участии автора.

При проведении исследований использовались общепринятые стандартные методы отбора, первичной обработки и анализа проб, а также визуальных и инструментальных гидрологических и гидрохимических наблюдений. Определение в пробах содержания нефтяных компонентов выполнялось в Гидрохимическом институте Росгидромета (ГХИ) под руководством глав. науч. сотр. ЮО ИВП РАН и ГХИ, д.х.н., проф. А.Г. Страдомской с помощью тонкослойного хроматографического, инфракрасного спектрофотометрического и люминесцентного методов анализа. В общей сложности в работе использованы результаты анализа 315 проб воды, 281 пробы донных и пляжевых отложений, 4 проб выветрелых нефтяных сликов.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в большинстве экспедиционных работ, результаты которых положены в основу диссертации, производил отбор и первичную обработку проб, осуществил научный анализ фактического материала по разным объектам исследований, выявил ряд закономерностей распределения и изменения компонентного состава нефти в водных экосистемах, предложил новый подход к оценке их самоочищающей способности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основе многолетних натуральных наблюдений установлены новые закономерности изменения содержания и компонентного состава нефти в водных объектах с течением времени.
2. Предложен новый подход, позволяющий судить о происхождении и степени трансформированности нефтяного загрязнения, а также фоновом содержании биогенных углеводов в донных отложениях.

- 3 Впервые разработан метод районирования водотоков по их способности к самоочищению от нефтяного загрязнения на основе сопоставления полученных кинетических характеристик процесса деструкции нефти с гидродинамическими, гидрохимическими, биохимическими и литологическими характеристиками водной среды

Практическая значимость.

1. Установленные закономерности могут быть использованы при оценке ущерба, наносимого окружающей среде нефтяными разливами, и расчета времени, необходимого для завершения процесса самоочищения.
2. Предложенный метод определения современного биогенного фона углеводородов в донных отложениях может применяться при мониторинговых исследованиях в районах с высоким уровнем аварийного или хронического нефтяного загрязнения.
3. Районирование водных объектов на основе несложного метода оценки их способности к самоочищению может быть полезно при выборе оптимальных с экологической точки зрения маршрутов транспортировки нефти, определении потенциальной угрозы для окружающей среды со стороны объектов нефтепромысла, разработке мер защиты уязвимых природных комплексов, а также при организации работ по восстановлению загрязненной среды

На защиту выносятся следующие положения:

1. В однотипных донных отложениях, загрязненных преимущественно нефтью единого происхождения, существует тесная корреляционная зависимость линейного характера между содержанием углеводородов и смолистых соединений. При снижении концентрации нефти в процессе самоочищения, а также при наличии множества источников нефтяного загрязнения эта зависимость становится слабее или исчезает.
2. Соотношение между содержанием углеводородов и смолистых соединений может быть использовано в качестве показателя степени трансформированности как нефтяных slickов, так и загрязнения, рассеянного в природных средах, где оно неизбежно накладывается на естественный фон современного биогенного происхождения.
3. В водотоках, загрязненных в результате разлива нефти, одновременно с трансформацией поллютанта происходит изменение содержания биогенных углеводородов. В течение первого месяца после аварии наблюдается их накопление, в последующие годы происходит одновременное снижение концентрации нефтяных компонентов и углеводородов биогенного происхождения, а по завершении процесса самоочищения содержание последних вновь увеличивается. Такая динамика обусловлена постепенным восстановлением нарушенного баланса продукционно-деструкционных процессов в экосистемах.
4. Получено уравнение множественной регрессии, связывающее динамику трансформации нефтяного загрязнения в водотоках с такими природными факторами, как скорость течения, характер донных отложений, глубина и микробиологическая активность. На этой основе разработана методика оценки способности водных экосистем к самоочищению. Наибольшей самоочи-

щающей способностью выделяются экосистемы, характеризующиеся высокой скоростью течения, песчано-гравийными донными отложениями и насыщенностью воды кислородом при повышенной интенсивности его биохимического потребления

Апробация работы. Основные положения и результаты настоящего диссертационного исследования изложены в 12 публикациях соискателя, а также докладывались и обсуждались на 4-ом Европейском съезде по химии окружающей среды (4th European Meeting on Environmental Chemistry) (г Плимут, Великобритания, декабрь 2003 г), Международной конференции «Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии» (г Томск, октябрь 2004 г), 1-й и 2-й конференциях Экологического общества РГУ «Экологические проблемы Взгляд в будущее» (Абрау-Дюрсо, СОЛ «Лиманчик», сентябрь 2004, 2005 гг), конференции «Экологические проблемы современности» научного общества «Университетская инициатива» (г Ростов-на-Дону, апрель 2004 г), а также на расширенном заседании кафедры физической географии, экологии и охраны природы РГУ (октябрь 2005 г).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 175 страниц, включая 9 таблиц и 34 рисунка. Список литературы содержит 156 наименований.

* * *

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.г.н., проф., зав кафедрой физической географии, экологии и охраны природы РГУ **Ю.А. Федорову** за помощь в выборе направления диссертационного исследования, ценные советы и интересные дискуссии, д.г.н., проф. Нантского университета (Франция) **П. Фатгалю**, заинтересовавшему автора проблемой нефтяного загрязнения еще в студенческие годы и подавшему немало ценных идей, д.х.н., проф., гл. науч. сотр. ЮО ИВП РАН и ГХИ **А.Г. Страдомской** за руководство анализом проб и научные консультации, руководителю мониторинговых работ в Таганрогском заливе к.г.н., доц. кафедры физической географии, экологии и охраны природы РГУ **А.А. Ищенко** за многолетнюю совместную научно-исследовательскую работу, полезные советы и дискуссии. Автор искренне признателен д.г.-м.н., проф. кафедры гидрогеологии РГУ **В.С. Назаренко** и сотрудникам кафедры физической географии, экологии и охраны природы РГУ к.г.-м.н., доц. **С.Я. Черноусову**, к.г.н., доц. **В.И. Денисову**, ст. преп. **Д.Н. Гарькуше** за внимание, проявленное к настоящему диссертационному исследованию, полезные советы и конструктивную критику, а также к.г.-м.н., доц. **Л.З. Ганичевой** и д.г.-м.н., проф. **Ю.П. Хрусталеву** за их неоценимую роль в становлении автора как научного исследователя.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» НШ-1967 2003 5.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде

1.1. Состав и свойства нефти. Нефть – это смесь низко- и высокомолекулярных предельных и непредельных алифатических, нафтеновых и ароматических углеводородов, а также насыщенных кислородных, азотистых, сернистых и ненасыщенных гетероциклических соединений типа смол, асфальтенов, асфальтеновых кислот. Кроме того, в состав нефти входят растворенные в ней газы, вода и минеральные соли. В зависимости от химического состава, разные типы нефти могут сильно отличаться друг от друга по плотности, вязкости, агрегатному состоянию, цвету и другим физическим свойствам.

Главным компонентом нефти и нефтепродуктов являются углеводороды. Их доля может изменяться от 50 до 98%. Всего в нефти идентифицировано около 600 индивидуальных углеводородов (Хант, 1982). Они относятся к следующим классам: алканы, циклоалканы, ароматические углеводороды и алкены. Последние встречаются только в легких нефтепродуктах. Алканы – сравнительно малотоксичные соединения и легко поддаются биохимическому разложению. Циклоалканы и ароматические углеводороды обладают повышенной устойчивостью структуры и более инертны к окислению. Они имеют тенденцию накапливаться в тяжелых нефтяных фракциях. Многие полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются сильными канцерогенами.

Отдельную группу соединений неуглеводородной природы образуют асфальтовые компоненты нефти, в молекулах которых содержатся так называемые гетероатомы – кислород, сера и азот. Среди них наиболее распространены смолы и асфальтены – тяжелые высокомолекулярные гетероциклические соединения, слабо подверженные биохимической трансформации.

1.2. Добыча, транспортировка и переработка нефти. Основные нефтепродукты. С 1859 г., когда в США была пробурена первая нефтяная скважина, и до настоящего времени во всем мире отмечался неуклонный рост объема добываемой нефти, который к 2000 г. достиг 3,5 млрд. т в год.

Ежегодно морским путем перевозится около 1,6 млрд. т нефти. Общее водоизмещение танкерного флота в 2001 г. насчитывало 280 млн. т дедвейт, что составляет 37% от совокупного тоннажа всех типов грузовых судов (Hammer, 2001). Основные пути морских транспортировок нефти направлены из Персидского залива, Карибского бассейна, Северной и Западной Африки в Северную Америку, Западную Европу и Японию. На континентальных территориях государств транспортировка нефти осуществляется, главным образом, по нефтепроводам. Они обеспечивают перекачку 99,5% добываемой в России нефти.

Главным потребителем нефти и нефтепродуктов является энергетический рынок. В настоящее время нефть обеспечивает около 40% мирового производства электроэнергии. Только 3% перерабатываемой нефти используется в химической промышленности.

На современных нефтеперерабатывающих заводах нефть подвергается перегонке в непрерывно действующих ректификационных колоннах. При этом обычно получают пять основных нефтяных фракций, отличающихся друг от друга пределами кипения: бензиновую, лигроиновую, керосиновую, дизельную и мазут, который затем подвергается вакуумной переработке

1.3. Нефтяное загрязнение Мирового океана и водных объектов суши.

По оценкам разных авторов, ежегодно в Мировой океан поступает от 1,7 до 10 млн т нефти и нефтепродуктов (Симонов, 1977, Пшенин, 1995; Немировская, 2004). Главным их источником является вынос с суши (44%). Также существенные потери нефти связаны с ее транспортировкой из районов добычи к местам переработки и потребления (23%). На долю аварийных разливов приходится от 5 до 12% общего объема нефтяного загрязнения Мирового океана

С 1988 по 1997 гг. более 70% от общего объема разлившейся нефти попало в море в результате 10 самых крупных аварий (Монинец, 1999). Наибольшими масштабами нефтяного загрязнения выделяются аварии танкеров «Торри Каньон» (1967 г.), «Амоко-Кадиз» (1978 г.), «Престиж» (2002 г.) у берегов Западной Европы, «Эксон Валdez» (1989 г.) у побережья Аляски, инцидент на буровой установке «Иксток-1» в Мексиканском заливе (1979 г.), разрыв нефтепровода в Республике Коми (1994 г.)

По разным оценкам, ежегодно в России при добыче и транспортировке теряется от 1 до 7% добываемой нефти, т.е. примерно 10 – 20 млн тонн. Причем три четверти этих потерь обусловлены порывами нефтепроводов, что связано с их плохим состоянием

Существенный вклад в общий приток нефти в водные объекты вносят ее естественные высачивания из нефтеносных пластов. Кроме того, многие углеводороды могут синтезироваться живыми организмами. По данным И.А. Немировской (2004), живое вещество суши ежегодно генерирует 100 млн т углеводородов, а в Мировом океане продуцируется 12 млн т. Таким образом, распределение нефтяного загрязнения происходит на устойчивом природном фоне

1.4. Воздействие нефтяного загрязнения на окружающую среду. Нефтяное загрязнение представляет большую опасность для окружающей среды. Распространяющиеся slicks вызывают гибель большого числа водоплавающих птиц и млекопитающих. Покрывающая поверхность воды нефтяная пленка нарушает физико-химический обмен с атмосферой, снижает количество растворенного в воде кислорода и проникновение солнечных лучей. Токсичные низкомолекулярные алифатические, нафтеновые и особенно ароматические углеводороды, растворяясь в воде, способны поражать сердечно-сосудистую и нервную системы гидробионтов. В наибольшей степени их токсическому стрессу подвержены планктонные организмы, личинки, икра и мальки. Особую опасность представляют ПАУ, обладающие канцерогенными свойствами. Осаждение нефтепродуктов и их накопление в донных отложениях вызывает гибель бентосных организмов, а также создает источник вторичного загрязнения водной толщи

Следует обратить внимание на слабую зависимость между количеством разлитой в результате аварии нефти и масштабами причиненного ущерба. По-

следний определяется множеством факторов, главные из которых – площадь разноса поллютанта, его природа, способность к рассеиванию и деградации, физико-географические условия охваченной загрязнением зоны, уязвимость её экосистем и степень хозяйственной освоенности (Fattal, Fichaut, 2002).

Глава 2. Факторы и процессы трансформации нефтяного загрязнения в водной среде

2.1. Механические и физико-химические факторы и процессы. Попадая на чистую водную поверхность, нефть начинает быстро растекаться. Форма и характер миграции образующихся нефтяных пятен определяются преимущественно ветром, волнением и течениями. Одновременно с распространением slicka происходит перераспределение нефтяных компонентов между различными формами миграции и звеньями природной системы.

Изначально основная часть поллютанта содержится в нефтяной пленке, однако длительность ее существования невелика. В течение первых часов после разлива происходящие потери нефти определяются преимущественно испарением. Наиболее активно улетучиваются низкомолекулярные парафины, нафтены и ароматические углеводороды. Поэтому содержащие их в большом количестве легкие нефтяные фракции испаряются за несколько дней. Растворимость нефти и нефтепродуктов в целом невелика и уменьшается со снижением в них доли ароматических углеводородов. Повышение температуры позитивно сказывается на скорости испарения и растворения нефти.

По мере того, как из slicka теряются летучие и водорастворимые компоненты, вязкость и плотность остатка повышается. При высокой динамической активности среды и низких температурах на его основе происходит образование нефтеводяных эмульсий, которые могут содержать до 80 – 90 % воды и характеризуются очень высокой вязкостью.

Немаловажную роль в эволюции нефтяного загрязнения играет его переход в донные отложения. Наибольшей сорбционной способностью характеризуются илы. Они могут накапливать значительное количество нефти, снижая интенсивность ее трансформации и создавая источник вторичного загрязнения.

Под действием кислорода атмосферы и солнечной радиации нефть, плавающая на поверхности воды, подвергается фотохимическому окислению.

2.2. Особенности биохимической трансформации соединений нефти. В долговременном масштабе ключевую роль в самоочищении окружающей среды играют биохимические процессы, протекающие с участием микроорганизмов. Только благодаря им происходит полный распад нефти до простых соединений, легко включающихся в общий круговорот веществ в водных экосистемах.

Интенсивность микробиологического разложения может довольно существенно различаться в зависимости от сорта нефти или нефтепродукта. Свежая нефть оказывает токсическое воздействие на микроорганизмы, пока не испарятся ее летучие компоненты. Остающиеся соединения при благоприятных условиях практически все, вплоть до самых тяжелых фракций, подвергаются биодест-

рукции Ее скорость быстро снижается в направлении н-алканы → олефины → моноароматические углеводороды → изоалканы → циклоалканы → ПАУ → смолисто-асфальтеновые соединения (Нельсон-Смит, 1977; Симонов, Зубакина, 1979, Мураками, 1982, Израэль, Цыбань, 1989).

Тяжелые нефти и мазуты, в больших количествах содержащие ПАУ, смолы и асфальтены, разрушаются значительно труднее, чем лёгкие нефти и нефтепродукты Впрочем, имеются сведения о бактериях, активно развивающихся на высокомолекулярных нефтяных компонентах (Миронов, 1970; Дядечко, Толстокова, 1984) Кроме того, некоторые консервативные органические соединения, в отдельности не потребляющиеся микроорганизмами, включаются в процесс биоразложения в присутствии легкоокисляемых соединений, служащих бактериям в качестве субстрата для роста и синтеза ферментов (Израэль, Цыбань, 1989).

2.3. Факторы биохимической трансформации нефти. Интенсивность биохимической трансформации нефти зависит от температуры окружающей среды, содержания в воде кислорода, биогенных соединений, состава и активности сообществ нефтеокисляющих бактерий и микробиоценозов в целом, а также присутствия высших водных растений, деятельности беспозвоночных животных и других гидробионтов При этом температурный фактор является решающим Понижение температуры среды на 10°C увеличивает период полураспада растворенных форм нефти примерно в два раза (Затучная, Симонов, 1975) Большинство видов микроорганизмов наиболее активны при температуре $20 - 35^{\circ}\text{C}$, однако некоторые бактерии способны достаточно активно окислять нефть и при очень низких, даже отрицательных температурах

Скорость разложения нефтепродуктов зависит от концентрации и видового состава нефтеокисляющих микроорганизмов. Наиболее активно в этом процессе участвуют бактерии родов *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter*, *Caulobacter*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Nocardia*. При отсутствии загрязнения их содержание в воде, донных и пляжевых отложениях невелико, однако попадание нефти приводит к быстрому увеличению количества бактерий. В районах нефтяного загрязнения плотность нефтеокисляющих микроорганизмов в воде обычно составляет $10^3 - 10^5$ кл./л, однако может увеличиваться и до 10^9 кл./л (Стародубцев, Родионов, 1981; Мураками, 1982; Израэль, Цыбань, 1989).

В процессе разложения входящих в нефть соединений в воду выделяются продукты их неполного окисления (гидроперекиси, спирты, органические кислоты, альдегиды и др.), накопление которых могло бы замедлить биодеструкцию Однако этого не происходит, поскольку образующиеся вещества, в свою очередь, являются пищей для других микроорганизмов Поэтому окисление нефти в водных экосистемах осуществляется не каким-то отдельным видом или группами бактерий, а в результате деятельности всего микробиоценоза

Большинству бактерий в процессе утилизации нефти необходим кислород Для полного окисления 1 мг углеводов до диоксида углерода и воды необходимо 3 – 4 мг кислорода (Прокор, 1950) Окисление нефти может происходить и в анаэробных условиях, но скорость этого процесса невысока

Значительное влияние на динамику распада нефти оказывает присутствие биогенных соединений. Их низкие концентрации могут лимитировать развитие бактерий, тогда как дополнительное внесение биогенов активизирует биодеструкцию в 2 – 3 раза (Atlas, Bartha, 1972; Дядечко, Толстокурова, 1984).

Имеются многочисленные сведения о существенном вкладе одноклеточных водорослей, планктонных и бентосных животных в процесс ассимиляции и разложения нефти. В большинстве случаев эти организмы сами не перерабатывают нефть, а делают ее более доступной для бактерий или способствуют ее переходу в донные отложения. Высшие растения также играют положительную роль в самоочищении водных объектов. Они обогащают воду кислородом и выступают в роли фильтров, задерживая пленочную нефть и создавая благоприятную среду для развития микрофлоры (Морозов, Торонищева, 1973, Нельсон-Смит, 1977).

Глава 3. Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в речных экосистемах (на примере р. Большая Крепкая)

3.1. Природные условия района исследований. Район исследований располагается в пределах покрытых каменистыми степями и пашнями южных отрогов Донецкого кряжа, в бассейне р. Тузлов, правого притока р. Дон. Рельеф типичен для открытого Донбасса и имеет ложбинно-грядовый характер, причем повышенные участки связаны с останцами прочных аргиллитов и алевролитов.

Климат носит континентальный характер и характеризуется как недостаточно жаркий (сумма активных температур 3128°C) и очень засушливый (коэффициент увлажнения 0,43). Среднегодовая температурой воздуха составляет 7,9°C (-6,9°C в январе, 22,5°C в июле), годовое количество осадков - 423 мм.

Основной объект исследований – р. Большая Крепкая в среднем ее течении. Это малая степная река с хорошо выраженным руслом шириной 5 – 15 м, глубиной несколько десятков сантиметров и долиной шириной 200 – 250 м. Долина имеет изрезанный глубокими балками крутой правый склон высотой 25 – 30 м, сложенный чередующимися слоями песчаников и аргиллитов, и пологий левый. Донные отложения р. Большая Крепкая представлены в основном илом, который в местах размыва выходящих на поверхность коренных пород Донбасса сменяется песчано-гравийным материалом. Основным источником питания реки – талые снеговые воды. Поэтому на весеннее половодье приходится до 70% общего годового стока. Скорость течения в межень – 0,1 – 0,4 м/с, однако в период весеннего половодья она значительно увеличивается, местами достигая 1,5 – 2 м/с.

3.2. Воздействие нефтяных разливов на речные экосистемы. Первая авария в районе исследований произошла 8 октября 1993 г. на 184 км магистрального нефтепровода Лисичанск-Тихорецк, в верховьях балки Калиновой (рис. 1). В результате в окружающую среду попало более 400 т сырой нефти, значительная часть которой по балке с водами ручья поступила в р. Большую Крепкую в черте хутора Атамано-Власовка, где произошло ее возгорание. Согласно результатам предварительного обследования, сильнее всего от нефтяного разлива пострадали балка Калиновая и участок р. Большой Крепкой от хутора

Атамано-Власовка вниз по течению протяженностью 10 км и вверх по течению протяженностью 0,5 км. В целях устранения последствий аварии и предотвращения дальнейшего распространения загрязнения силами служб ГО и ЧС, местной администрации и Управления Прикаспийско-Кавказских нефтепроводов был снят и вывезен загрязненный нефтью грунт, сооружены две земляные плотины с выпускными трубами в верховьях балки Калиновой и каскад временных плотин из соломенных матов в средней и нижней частях балки, а также на всем протяжении загрязненного участка поймы р. Большая Крепкая.

Спустя два с половиной года, 10 апреля 1996 г., в 1 км ниже по склону от места первой аварии вновь произошел порыв нефтепровода. Согласно официальным сведениям Ростовского областного комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов, в результате аварии было потеряно около 2 тыс. т нефти, часть которой поступила в р. Большая Крепкая в 1 км ниже хутора Атамано-Власовка и распространилась вниз по течению на расстояние 20 км. Благодаря экстренно принятым мерам значительная часть разлившейся нефти была удержана в амбарах и собрана с поверхности реки.

3.3. Методика исследований. В период 1993 – 2004 гг. в районе нефтяных разливов были организованы четыре полевые съемки в ноябре 1993 г., июле 1997, 2000 и 2004 гг., во время которых определялся уровень загрязнения нефтью поверхностных вод и донных отложений, а также ряд гидрохимических и гидробиологических показателей (содержание биогенных элементов, кислорода, БПК₅, количество и состав микроорганизмов). Наблюдения осуществлялись по единой сети станций, схема расположения которых представлена на рис. 1. Пробы воды отбирались из средней части водной толщи, а образцы донных отложений – с трех горизонтов: 0 – 5 см (поверхностный), 5 – 10 см и 10 – 15 см. Анализ проб выполнялся в Гидрохимическом институте Росгидромета (ГХИ).

Первые комплексные научные исследования на месте разлива были проведены в ноябре 1993 г., через 40 дней после аварии, и имели целью установить масштабы загрязнения, оценить ущерб, нанесенный окружающей среде, и возможные экологические последствия, а также разработать рекомендации по их уменьшению. Результаты этого этапа работ изложены в статье В.Е. Закруткина и соавторов (1994) и монографии Ю.А. Федорова (1999). Дальнейшие наблюдения за загрязненными водотоками осуществлялись по инициативе коллектива ученых, руководимого д.г.н., проф. Ю.А. Федоровым, с целью проследить изменения разлившейся нефти под действием факторов окружающей среды.

3.4. Выявленные закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения в воде и донных отложениях. В ходе первых исследований в районе аварии в ноябре 1993 г. наибольший уровень нефтяного загрязнения воды и особенно донных отложений был зафиксирован в ручье балки Калиновой, расположенной в непосредственной близости от места разрыва нефтепровода (рис. 1). Здесь суммарное содержание углеводородов и смолистых соединений в воде превышало предельно-допустимые нормы в 2 – 4 раза, а в донных отложениях достигало 672 мг/г сухого вещества (с в.). При этом повсеместно на водной поверхности ручья присутствовала нефтяная пленка.

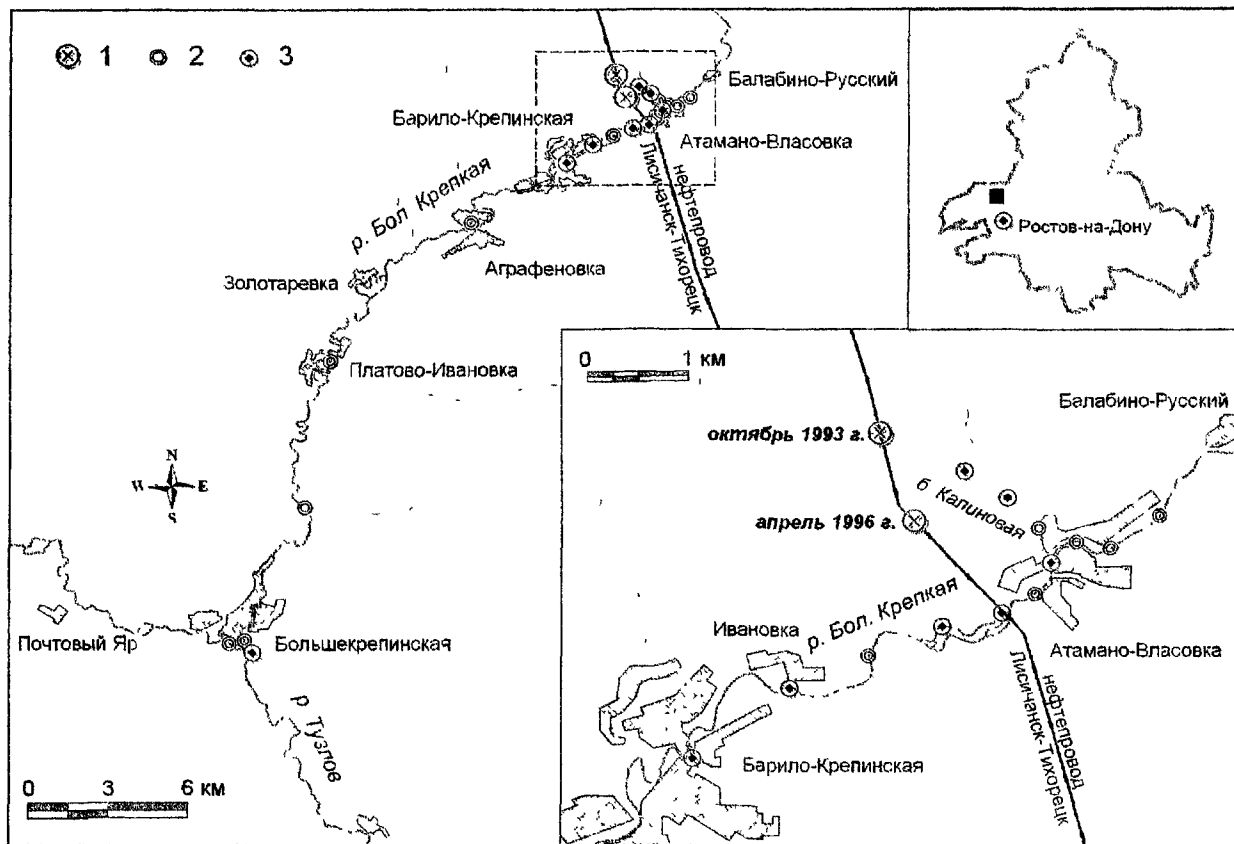


Рис. 1. Схема района нефтяных разливов и расположения станций отбора проб: 1 – места разрывов нефтепровода; 2 – станции отбора проб в ноябре 1993 г.; 3 – станции отбора проб в ноябре 1993 г., июле 1997, 2000, 2004 гг.

В воде р Большая Крепкая содержание суммы нефтяных компонентов изменялось в пределах 0,04 – 0,19 мг/л. Степень их накопления в донных отложениях сильно варьировала в зависимости от литологического типа последних. В районе попадания нефти в реку в песчано-гравийных отложениях фиксировались сравнительно невысокие концентрации загрязнения (4 – 7 мг/г с.в.), тогда как в илах, слагающих русло реки ниже по течению, они существенно увеличивались (до 25 – 94 мг/г с.в.). В целом, отмечено повышение доли смолистых соединений (смола и асфальтенов) по отношению к углеводородам в ряду вода → поверхностная пленка → илистые отложения → песчано-гравийные отложения.

Последующие наблюдения показали общее снижение содержания нефтяных компонентов в воде и донных отложениях водотоков. Исключение составили две станции, расположенные на участке р. Большая Крепкая, где в апреле 1996 г вследствие разрыва нефтепровода вновь произошло попадание нефти в реку. Во время съемки в июле 1997 г здесь было зафиксировано увеличение содержания смолистых соединений в поверхностном слое донных отложений в 2 – 5,7 раза по отношению к уровню ноября 1993 г.

Установлено, что процесс самоочищения водных экосистем наилучшим образом характеризуется изменением содержания нефтяных компонентов в донных отложениях, как депонирующей среде, слабо реагирующей на кратковременные изменения гидролого-гидрохимических условий и способной длительное время сохранять консервативные смолистые соединения, являющиеся наиболее устойчивыми индикаторами нефтяного загрязнения.

В результате анализа данных, полученных в ходе первых трех полевых съемок, установлено наличие тесной корреляционной зависимости ($r = 0,90 - 0,99$) линейного характера между концентрациями углеводородов и смолистых соединений в пробах донных отложений сходного литологического состава, отобранных на разных станциях. Отмеченная зависимость может быть описана уравнением линейной регрессии вида: $УВ = \alpha \cdot СК + b$, где УВ – содержание углеводородов, а СК – смолистых компонентов нефти. На графиках, представленных на рис. 2, в использованном нами ввиду существенного разброса значений логарифмическом масштабе прямые, соответствующие данному уравнению, принимают форму экспонент. Наряду с достаточно высокими концентрациями смол и асфальтенов, факт сохранения такой зависимости в течение семи лет после аварии свидетельствует о присутствии загрязнения, имеющего единое происхождение. При снижении уровня содержания нефти до фонового через 11 лет после разлива эта зависимость уже не фиксировалась.

В данных уравнениях регрессии большой интерес представляют константы α и b . Значения константы b позволяют судить, каким был бы средний уровень содержания углеводородов при нулевой концентрации смолистых соединений, т.е. при отсутствии нефтяного загрязнения. Полученные хроматографические и фотометрические характеристики фоновых проб с минимальным содержанием смол и асфальтенов подтвердили преимущественно биогенное происхождение присутствующих в них углеводородов. Таким образом, индекс b можно считать характе-

ристикой фонового уровня содержания углеводов современных биогенного происхождения.

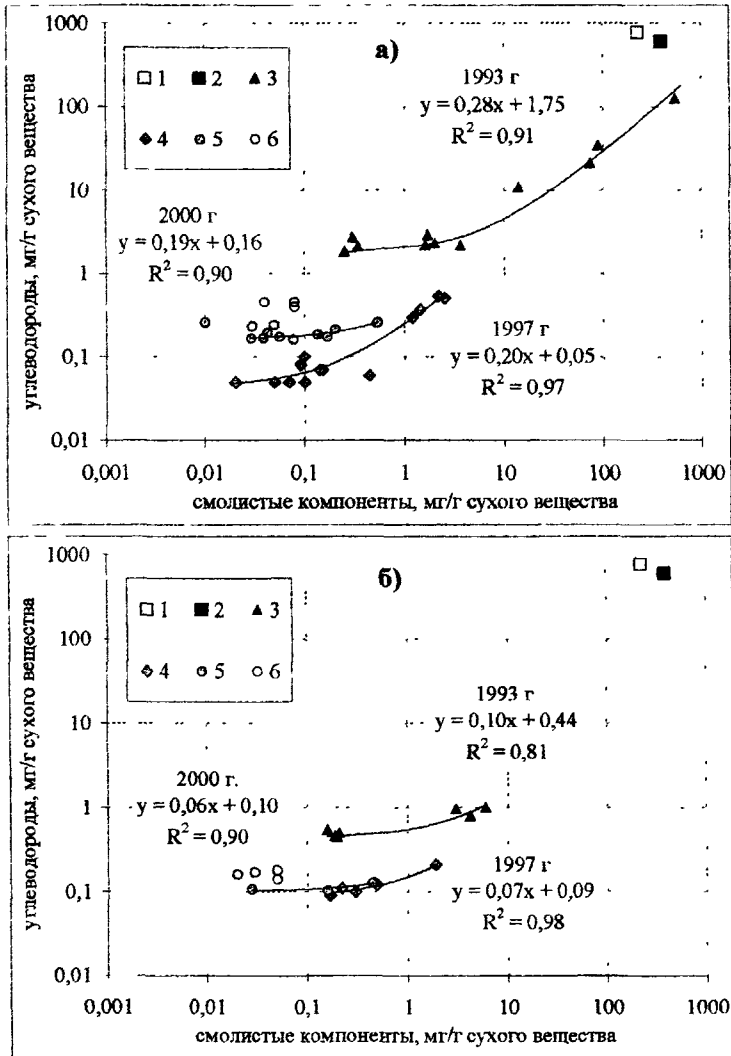


Рис. 2. Зависимость между содержанием углеводов и смолистых компонентов в илистых (а) и песчано-гравийных (б) отложениях р Большая Крепкая и ручья Калинового: 1 – нефть, разлившаяся в результате аварии; 2 – нефтяной слик через 40 дней после разлива; 3–6 – пробы донных отложений, отобранные в одну из четырех экспедиций: 3 – ноябрь 1993 г.; 4 – июль 1997 г., 5 – июль 2000 г.; 6 – июль 2004 г.

Другая константа α является отношением между содержанием нефтяных углеводов и смолистых соединений в донных отложениях. В течение семи лет наблюдений по мере протекания процесса трансформации нефти значения этого коэффициента закономерно снижались. Подобное его поведение обусловлено более интенсивной деструкцией углеводов по сравнению с консервативными смолами и асфальтенами. Ранее Ю.А. Федоров (1999, 2001) уже предлагал использовать это отношение для качественного разделения нефтяных сливок на «свежие» и «выветрелые». В настоящей работе, таким образом, подтверждено значение коэффициента α не только для сливок, но и для загрязнения, рассеянного в донных отложениях, где оно накладывается на естественный фон биогенных углеводов.

С течением времени в донных отложениях рассматриваемых водных экосистем содержание основных нефтяных компонентов и отношение между ними (α) снижались по экспоненциальному закону, т.е. наиболее существенные изменения поллютанта происходили в течение первых четырех лет, а затем процесс замедлялся. Таким образом, для описания динамики трансформации нефти можно использовать кинетическое уравнение реакции первого порядка, которое имеет вид $C_t = C_0 e^{-kt}$, где C_0 , C_t – концентрации поллютанта или значения коэффициента α в начальный момент и через временной интервал t , а k – коэффициент скорости трансформации. В изучаемых водотоках значения этого коэффициента для отношения α изменялись в пределах $0,1 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-3}$ сут.⁻¹, увеличиваясь на станциях с песчаными отложениями, повышенной скоростью течения, достаточно высоким содержанием биогенных соединений и растворенного кислорода.

Одновременно с трансформацией нефтяного загрязнения происходило изменение содержания биогенных углеводов. В первый месяц после аварии было отмечено их накопление, что может объясняться переключением части микроорганизмов с автохтонных органических веществ на окисление нефти. В последующие четыре года происходило одновременное снижение концентрации нефтяных компонентов и углеводов биогенного происхождения. Последние, видимо, усиленно потреблялись микроорганизмами в качестве ростового субстрата. В дальнейшем содержание биогенных углеводов в донных отложениях имело тенденцию к увеличению, что свидетельствует о постепенном восстановлении нарушенного баланса продукционно-деструкционных процессов.

Глава 4. Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в экосистемах литорали атлантического побережья Франции

4.1. Природные условия района исследований.

Северо-западная часть Франции лежит в пределах Армориканского кристаллического массива, который окаймляют преимущественно скалистые побережья, сильно изрезанные глубокими заливами и эстуариями. Кристаллический выступ Герандийского полуострова с континентом соединяют две песчаные пересыпи, в понижении между которыми сформировалась заболоченная лагуна Круазик (рис.3). Северо-западный и западный берег Герандийского полуострова представлен широкой

абразионной террасой, между отдельными блоками которой накапливаются песчаные отложения. С юга полуостров крутым скалистым уступом обрывается в море. В глубине небольших бухт встречаются песчаные и галечные пляжи. Берега заболоченной лагуны Круазик сложены илистым материалом

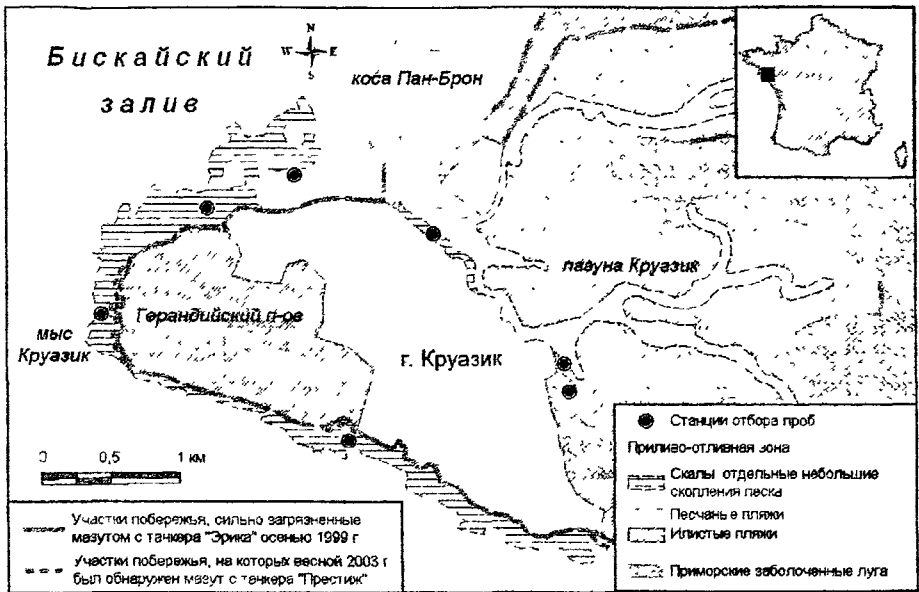


Рис. 3. Схема распространения типов берегов и расположения станций отбора проб на Герандийском полуострове (Франция) в декабре 2004 г.

Климат Западной Франции является умеренным морским. Зима тёплая и очень влажная. Средняя температура января положительная. Лето характеризуется чередованием дождливых прохладных и сухих жарких периодов. Годовое количество осадков составляет примерно 900 мм и распределяется в течение года относительно равномерно.

Район исследования отличается богатством природными ресурсами и высокой степенью их освоенности. Здесь сосредоточены значительные рыбные запасы, что обусловлено наличием материковой отмели, а также высокопродуктивных мелководных заливов и лагун, в которых веками ведётся производство морепродуктов и пищевой соли. Широкие пляжи, живописные скалистые побережья и доны привлекают множество туристов.

4.2. Нефтяные разливы в районе исследований и их воздействие на окружающую среду. 12 декабря 1999 г. у берегов полуострова Бретань потерпел крушение танкер «Эрика». В результате в море вылилось порядка 17 – 20 тыс. т мазута марки М-100. Основная часть поллютанта была выброшена на северо-западное побережье Франции на протяжении 400 км. Сильнее всего пострадали

скалистые берега Герандийского полуострова, мыса Сен-Жильда и о Нуармуте, а также мелководный залив Бурнёф, Здесь в приливо-отливной зоне мазут образовал сплошной и довольно мощный покров.

Нефтяная катастрофа «Эрики» стала причиной гибели более 300 тыс морских птиц На ряде участков литорали было отмечено большое количество погибших моллюсков, что, видимо, является следствием не только загрязнения, но и сильных штормов. 2 – 3 месяца спустя после разлива в двустворчатых моллюсках фиксировался всплеск содержания высокотоксичных ПАУ Впрочем, дальнейшие анализы свидетельствовали о улучшении ситуации (IFREMER, 2000)

Три года спустя еще более серьезная по масштабу авария произошла у берегов Галисии (Испания). 13 ноября 2002 г. танкер «Престиж» с 77 тыс т мазута на борту, попав в шторм, получил повреждение корпуса, в результате чего началась утечка нефтепродукта Через несколько дней борьбы со стихией судно разломалось пополам и затонуло Согласно оценкам, в воды Атлантики попало более 60 тыс. т мазута, сходного по составу и свойствам с нефтепродуктом «Эрики» и характеризовавшегося высокой плотностью и вязкостью.

Несмотря на беспрецедентные усилия по борьбе с загрязнением в море, значительная часть поллютанта проникла в Бискайский залив и в начале 2003 г достигла юго-западного побережья Франции. В мае – июне 2003 г нефтяные слики, идентифицированные как поступившие с танкера «Престиж», были обнаружены на многих участках литорали департамента Атлантическая Луара, в том числе на пляжах и скалах Герандийского полуострова В общей сложности, нефтяным загрязнением в разной степени было охвачено около 1200 км атлантического побережья Испании, Португалии и Франции.

4.3. Методика исследований. На атлантическом побережье Франции отбор проб пляжевых отложений был осуществлен в декабре 2004 г для изучения уровня нефтяного загрязнения, идентификации его происхождения и определения изменений компонентного состава нефтепродуктов «Эрики» и «Престижа» за годы, прошедшие после нефтяных разливов В качестве объекта исследования было выбрано побережье Герандийский полуострова, сильнее других пострадавшее от нефтяного загрязнения в 1999 – 2000 гг. (рис 3)

Пробы пляжевых отложений отбирались на семи станциях с трех горизонтов. 0 – 5 см (поверхностный), 5 – 10 см и 10 – 15 см. Кроме того, на скалах приливо-отливной зоны мыса Круазик были отобраны три образца выветрелых нефтяных сликов Определение в пробах содержания нефтяных компонентов выполнялось в Гидрохимическом институте Росгидромета.

4.4. Выявленные закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения на скалах приливо-отливной зоны и в пляжевых отложениях. Во время исследований, проведенных в декабре 2004 г, в большинстве проб, отобранных на песчаных пляжах, нефтяное загрязнение присутствовало в небольших количествах (0,02 – 0,06 мг/г сухого вещества) и характеризовалось достаточно высокой степенью трансформированности Судить о его происхождении сложно из-за низкой концентрации и большого различия в компонентном составе В условиях регулярного перемывания песчаного материала,

а также интенсивного хронического загрязнения здесь вряд ли могли сохранить-ся значительные следы мазутов, разлившихся в 1999 и 2002 гг

Напротив, в пробах илистых отложений заболоченной лагуны Круазик загрязнение, также имевшее низкие концентрации (0,04 – 0,08 мг/г с. в.), характеризовалось близким компонентным составом с высокой долей смол и асфальтенов (около 75%) Это свидетельствует о едином источнике поллютанта и его длительном присутствии в окружающей среде По всей видимости, на данном участке сохранились следы нефтепродукта с танкера «Эрика», тем более что ранее здесь фиксировались значительные его скопления Сопоставляя компонентный состав загрязнения с результатами анализов, выполнявшихся в 1999 г (CEDRE, 2000), а также учитывая экспоненциальный характер процесса трансформации нефти, можно примерно оценить скорость самоочищения Как оказалось, коэффициент скорости трансформации нефтяного загрязнения в заболоченных илистых отложениях побережья Франции, несмотря на различную природу поллютанта, совпадает со значением, которое отмечалось в условиях подпруженного и заиленного участка ручья Калинового ($1 \cdot 10^{-4}$ сут $^{-1}$) (рис 4)

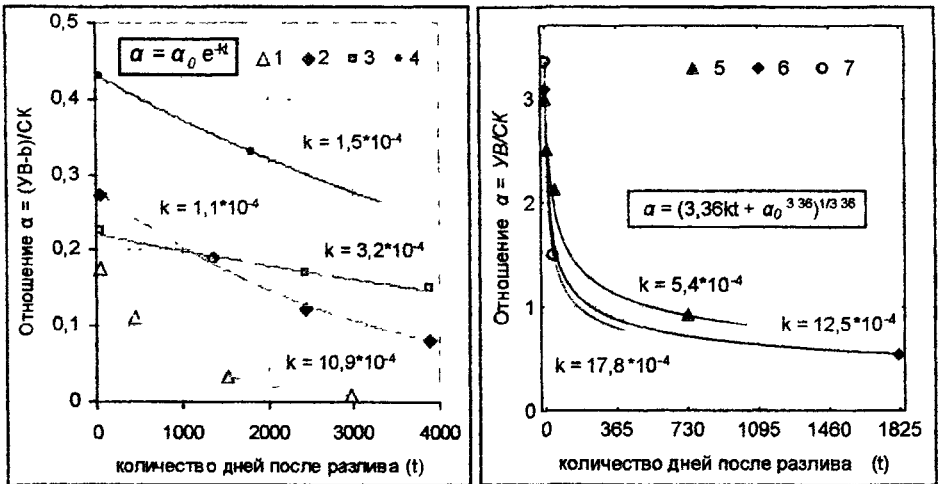


Рис. 4. Изменение коэффициента трансформированности нефти (α) в донных отложениях и сликах с течением времени: 1, 2 – песчано-гравийные и илистые отложения р. Большая Крелкая; 3 – илистые отложения ручья Калинового; 4 – илистые отложения лагуны Круазик, 5 – мазут с танкера «Престиж»; 6 – мазут с танкера «Эрика»; 7 – нефть из нефтепровода Лисичанск – Тихорецк.

Большой интерес представляют результаты анализа компонентного состава нефтяных сликов, обнаруженных на скалах приливо-отливной зоны мыса Круазик По составу они напоминают мазуты «Эрики» и «Престижа», отличительной чертой которых являлось не характерное для сырой нефти высокое содержание ПАУ (13 – 16%), а также значительная доля смолисто-асфальтеновых соедине-

ний (20 – 23%) Наиболее трансформированные затвердевшие асфальтоподобные корки, содержавшие более 65% смол и асфальтенов, вероятно, остались на побережье после разлива 1999 г., тогда как мягкие и более свежие слики (46% смолистых соединений), скорее всего, были выброшены на берег в 2003 г., после крушения танкера «Престиж». На основе данных, полученных в ходе настоящего исследования, а также результатов анализа проб мазутов «Эрики» и «Престижа», проведенных разными лабораториями в 1999 и 2002 гг., была оценена динамика изменения компонентного состава сликов (рис 4).

Сравнивая коэффициенты скорости трансформации мазутов «Эрики» и «Престижа», а также нефти, разлившейся на реках Родионово-Несветайского района Ростовской области, приходим к выводу о близости их значений и зависимости от природы поллютанта сырая нефть подвергается трансформация в 1,5 – 3 раза активнее, чем мазуты. Кроме того, можно заключить, что в долгосрочной перспективе в условиях регулярного контакта с воздухом, более заметных суточных и сезонных перепадов температуры и под действием прямых солнечных лучей процесс «старения» слика на скалах идет активнее, чем в донных и пляжевых отложениях.

Глава 5. Закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения в районе судоходных каналов в Таганрогском заливе Азовского моря

5.1. Природные условия района исследований. Азовское море является малым мелководным морским бассейном. Его площадь составляет около 380 тыс. км², средняя глубина – 8 м. В северо-восточной части моря располагается самая мелководная его часть – Таганрогский залив, в который впадает р. Дон, образуя дельту. Донные отложения Таганрогского залива представлены преимущественно алевритовыми и пелитовыми илами.

Таганрогский залив лежит в области умеренно-континентального климата. Зима здесь довольно мягкая и сухая, лето жаркое и, несмотря на выпадение основной части осадков, сухое в силу высокой испаряемости. В течение года преобладают ветры восточных румбов. Температура воды изменяется от 0°С и меньше зимой, когда Таганрогский залив частично или полностью покрывается льдом, до 25 – 30°С летом. Соленость в приустьевых районах Дона составляет 2 – 4‰. Система циркуляции вод отличается сложностью и неустойчивостью. Стоковые течения Дона играют существенную роль лишь в пределах авандельты. Штормовые восточные и северо-восточные ветры вызывают сгоны. Вдольбереговые течения у северного и южного побережий залива имеют преимущественно западное направление, что нашло отражение в ориентации песчаных кос.

Таганрогский залив и Азовское море в целом обладают всеми наиболее благоприятными для развития жизни природными условиями. Небольшие глубины водоема, его внутриконтинентальное положение и обильный материковый сток обусловили наличие достаточного количества света, тепла, кислорода, питательных веществ и, как следствие, высокую продуктивность экосистем.

5.2. Источники и масштабы хронического нефтяного загрязнения. В последние годы вопрос о нефтяном загрязнении Азовского моря стал чрезвычайно актуальным в связи с устойчивым ростом интенсивности перевозок нефти судами типа «Волго-Нефть» через Азово-Донскую магистраль. Предполагается, что к 2010 г. их объем превысит 8 млн т в год. В настоящее время общее количество нефти и нефтепродуктов, ежегодно поступающее в Азовское море от разных источников, оценивается в 25 – 30 тыс т, из которых 10 тыс т приходится на судоходство и 5 тыс т – на речной сток (Воловик, Макаров, Семёнов, 1996).

По данным АзНИИРХ, в 1985 – 1996 гг. концентрации нефтепродуктов в Таганрогском заливе изменялись в пределах 0,01 – 2,5 мг/л в воде и 0,07 – 2,4 мг/г в донных отложениях (Грибанова, 1998). С удалением от авандельты Дона в направлении западной части залива одновременно с ростом первичной продукции в процессе биоассимиляции и биоседиментации происходит снижение концентраций нефтяных компонентов в водной толще и их возрастание в донных отложениях. Таким образом, экосистема Таганрогского залива играет роль биофильтра стока в Дон, переводя поступающее с ним загрязнение в донные отложения, где происходит его дальнейшая трансформация (Бронфман, 1976).

5.3. Методика исследований. В Таганрогском заливе исследования проводились в период 1998 – 2004 гг. в районе Азово-Донского морского канала и Таганрогского подходного канала в рамках работ по природному обоснованию и мониторингу подводных отвалов грунтов дноуглубления. Руководство научными исследованиями осуществлялось к. г. н., доц. РГУ А. А. Ищенко.

В районе Азово-Донского морского канала пробы воды и донных отложений отбирались в 1998 – 1999 гг. на 10 станциях, расположенных в зоне складирования грунтов дноуглубления, а также на 10 станциях в прорези канала (рис. 5). При этом в канале, чистка которого на тот момент не проводилась в течение ряда лет, образцы донных отложений были отобраны с помощью трубки ГОИН с послонным опробованием горизонтов 0 – 20 см, 20 – 50 см и 50 – 90 см. В районе Таганрогского подходного канала отбор проб осуществлялся в период 2000 – 2004 гг. на 18 станциях в прорези канала, а также на 9 станциях, расположенных в зоне дампинга и на ее периферии. Определение в пробах содержания нефтяных компонентов выполнялось в Гидрохимическом институте Росгидромета.

5.4. Выявленные закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения в донных отложениях. Результаты исследований в районах судоходных каналов свидетельствуют о повышенном уровне нефтяного загрязнения водной толщи и донных отложений. В районе Азово-Донского канала в 1998 – 1999 гг. концентрации суммы нефтяных компонентов изменялись в пределах 0,04 – 0,52 мг/л в воде и 0,15 – 1,09 мг/г сухого вещества (с в) в донных отложениях. В районе Таганрогского подходного канала в 2000 – 2004 гг. их содержание варьировало в пределах 0,01 – 0,39 мг/л в воде и 0,10 – 0,63 мг/г с в в донных отложениях. Наибольшим уровнем загрязнения характеризовались донные отложения, отобранные непосредственно в прорези морских каналов и в местах складирования грунтов дноуглубления.

Как и в загрязненных нефтью водотоках Родионово-Несветайского района, в донных отложениях Азово-Донского и Таганрогского каналов, а также прилегающих акваторий установлена достаточно высокая корреляционная зависимость линейного характера между содержанием углеводородов и смолистых соединений. Для Азово-Донского морского канала коэффициент корреляции составляет 0,85, для Таганрогского подходного канала – 0,68. Эти значения существенно ниже коэффициентов корреляции, отмечавшихся в зоне нефтяных разливов на р. Большая Крепкая, где речь шла исключительно о нефти из разорванного нефтепровода. Такая зависимость обусловлена наличием разных источников нефтяного загрязнения при ведущей роли одного из них.



Рис. 5. Схема станций отбора проб в Таганрогском заливе Азовского моря.

В Азово-Донском канале донные отложения содержат более свежее нефтяное загрязнение, чем в Таганрогском (доля углеводородов в первом случае в 1,6 раза выше). Это свидетельствует о том, что главная роль в загрязнении каналов принадлежит разным источникам. Относительно свежее загрязнение донных отложений Азово-Донского морского канала, использующегося для транспортировки нефти, по всей видимости, связано с циркуляцией танкеров. Напротив, Таганрогский подходный канал, расположенный перпендикулярно преобладающим направлениям переноса взвешенного материала и характеризующийся наибольшей заносимостью, содержит загрязнение, имеющее более высокую степень трансформированности (68% смолистых соединений). Можно сделать предположение о его поступлении преимущественно с твердым стоком р. Дон.

Глава 6. Принципы классификации водных экосистем по их способности к самоочищению при нефтяном загрязнении

Выявленные закономерности трансформации нефти могут служить основой для разработки принципов классификации и районирования водных экосистем согласно их способности к самоочищению. В настоящее время для решения классификационных задач все чаще используют балльные оценки, дающие возможность сравнивать различные объекты исследований по интегральному показателю, суммирующему баллы различных факторов, оказывающих влияние на рассматриваемые процессы. В развитие этого подхода В.Б. Коробовым (2002, 2004) предложен метод, позволяющий учитывать вклад каждого фактора в конечный результат путем введения т.н. весовых коэффициентов.

На основе сведений, имеющихся в научной литературе, а также результатов проведенных исследований нами выделены основные факторы, контролирующие протекание процесса трансформации нефти: термические условия среды, гидродинамическая активность, глубина водного объекта, характер донных отложений и микробиологическая активность. Для их количественного описания и балльной градации взяты следующие показатели: годовая сумма положительных среднесуточных температур, скорость течения (для водотоков), характер донных отложений, средняя глубина, а также произведение относительного содержания растворенного кислорода и скорости его биохимического потребления.

На причине выбора показателя, предлагаемого для характеристики микробиологического фактора, следует остановиться подробнее, поскольку она не очевидна. В качестве индикатора микробиологической активности может выступать широко распространенный в гидрохимии показатель БПК₅, который определяется как количество кислорода, потребляемого в течение пяти суток при биохимическом окислении содержащихся в воде органических веществ в аэробных условиях. Впрочем, высокая скорость биохимического потребления кислорода может рассматриваться не только как свидетельство активности процессов самоочищения, но и как результат загрязнения. Поэтому, говоря о трансформации поллютантов как о положительном процессе, необходимо учитывать, насколько экосистема способна его поддерживать на достаточно высоком уровне. Об этой способности можно косвенно судить по относительному содержанию растворенного кислорода. Если при высоких значениях БПК₅ содержание кислорода в воде близко к насыщению, значит, его потери на окисление органики полностью покрываются за счет фотосинтеза и поступления из атмосферы, и экосистема успешно справляется с загрязнением. При перемножении БПК₅ и относительного содержания кислорода мы получаем новый показатель, практически не зависящий от загрязнения и характеризующий максимальный уровень БПК₅, при котором в воде сохраняется бездефицитный баланс кислорода.

Для оценки способности водных экосистем к самоочищению предлагается использовать индекс (*I*), рассчитываемый путем суммирования предложенных критериев, выраженных в баллах по единой шкале (нами принята 5-балльная

шкала), с учетом их весовых коэффициентов, отражающих роль каждого фактора в процессе трансформации нефтяного загрязнения

$$I = \tau T + \nu V + \sigma S + \delta D + \beta B + \gamma,$$

где T – годовая сумма положительных среднесуточных температур, V – скорость течения, S – тип донных отложений, D – средняя глубина водного объекта, B – произведение относительного содержания растворенного кислорода и БПК₅

Значения весовых коэффициентов можно получить на основе анализа данных многолетних наблюдений за динамикой процесса самоочищения водотоков в Родионово-Несветайском районе Ростовской области В качестве количественного показателя процесса самоочищения взяты значения натурального логарифма коэффициента скорости трансформации нефтяного загрязнения

К сожалению, в ходе анализа из дальнейших расчетов пришлось исключить термический фактор самоочищения, поскольку для количественной оценки его влияния необходимо иметь информацию о динамике процесса трансформации нефти в различных климатических условиях Таким образом, полученные далее результаты могут быть применимы только для водотоков, расположенных в сходных с Ростовской областью климатических условиях.

В результате множественного регрессионного анализа фактического материала было получено уравнение, моделирующее связь самоочищения водотоков с основными факторами окружающей среды:

$$\ln k = 0,49V - 0,20S + 0,17B - 0,14D + 2,08,$$

где k – коэффициент скорости трансформации нефтяного загрязнения Коэффициенты регрессии, стоящие перед входящими в уравнение переменными, и есть искомые весовые коэффициенты, позволяющие судить о роли основных факторов в процессе самоочищения водотоков

На основе вычисленных значений индекса I проведено районирование обследованных отрезков р Большая Крепкая и ручья Калинового Наибольшие значения индекса самоочищающей способности ($I = 3,69 - 4,24$ баллов) получены для участка реки, характеризующегося достаточно высокой скоростью течения (около 0,4 м/с), песчано-гравийными донными отложениями и повышенными значениями БПК₅ при насыщенности воды кислородом (рис.6)

Заключение

Сравнительное изучение распределения и динамики трансформации нефтяного загрязнения в водотоках бассейна р Дон, литоральных экосистемах атлантического побережья Франции и Таганрогском заливе Азовского моря позволило выявить ряд общих закономерностей

1. В долговременном масштабе процесс самоочищения водных экосистем наилучшим образом отражается в снижении концентраций нефтяных компонентов в донных отложениях Эта депонирующая среда, в отличие от динамичной водной толщи, менее чутко реагирует на кратковременные изменения гидролого-гидрохимических условий водного объекта Кроме того, донные отложения способны накапливать и длительное время сохранять в себе наиболее устойчи-

вые к трансформации соединения – смолы и асфальтены – являющиеся индикаторами загрязнения нефтью и тяжелыми нефтепродуктами

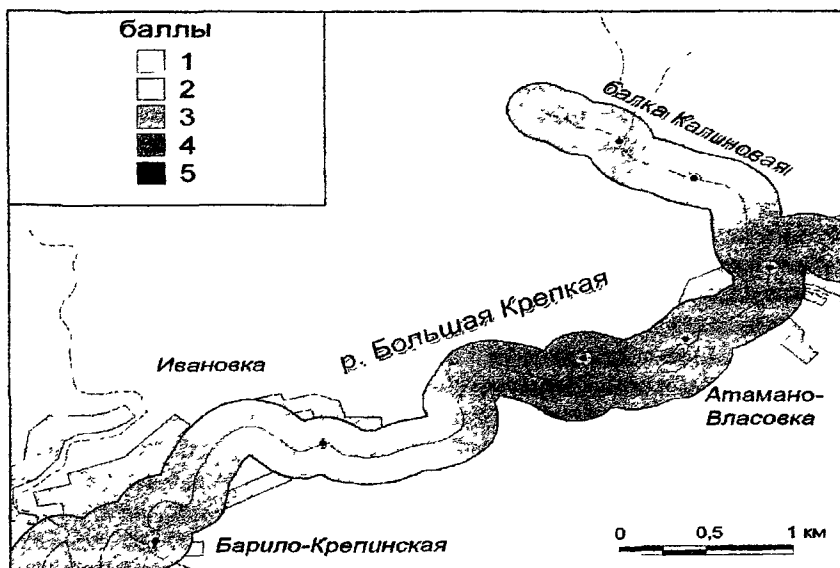


Рис. 6. Распределение значений индекса самоочищающей способности водных экосистем (I) в ручье Калиновом и р Большой Крепкой

2. Установлено наличие тесной корреляционной зависимости линейного характера между содержанием углеводов и смолистых соединений в однотипных донных отложениях, загрязненных преимущественно нефтью единого происхождения. При снижении содержания поллютанта в процессе самоочищения, а также при наличии множества источников поступления нефтяных компонентов эта зависимость становится слабее или исчезает. Данную закономерность можно использовать при идентификации источников нефтяного загрязнения, что было сделано на примере судоходных каналов в Таганрогском заливе Азовского моря.

3. Отмеченная зависимость может быть описана уравнением регрессии вида $УВ = \alpha \cdot СК + b$, где $УВ$ – содержание углеводов, $СК$ – смолистых компонентов, α – соотношение между углеводородной и смолисто-асфальтеновой фракциями нефти, b – фоновое содержание углеводородов современного биогенного происхождения. С ростом продолжительности нахождения нефти в окружающей среде значения коэффициента α закономерно уменьшаются, что объясняется более интенсивной деструкцией углеводов по сравнению с консервативными смолами и асфальтенами. Таким образом, коэффициент α можно использовать в качестве показателя трансформированности нефтяного загрязнения в окружающей среде.

4. Установлено, что снижение содержания нефтяного загрязнения и доли в нем углеводородов протекает по экспоненциальному закону. Основные изменения поллютанта происходят в первые месяцы после разлива, однако они связаны, прежде всего, не с разрушением соединений нефти, а с их перераспределением в системе «атмосфера – вода – взвешенное вещество – донные отложения». Консервативные высокомолекулярные углеводороды и смолистые соединения переходят в грунт, где их дальнейшая трансформация протекает медленно при ведущей роли микроорганизмов

5. Исследуя остатки мазута, обнаруженные на скалах приливо-отливной зоны, было установлено, что в условиях контакта с воздухом, более заметных суточных и сезонных перепадов температуры и под действием прямых солнечных лучей процесс их трансформации протекает активнее, чем загрязнения, рассеянного в донных и пляжевых отложениях, однако значительно медленнее по сравнению с сырой нефтью.

6. В водотоках, загрязненных в результате разлива нефти, одновременно с трансформацией поллютанта изменяется содержание биогенных углеводородов. В течение первого месяца после аварии наблюдается их накопление, в последующие годы в соокислительных условиях происходит одновременное снижение концентрации нефтяных компонентов и углеводородов биогенного происхождения, а по завершении процесса самоочищения содержание последних вновь увеличивается. Такая динамика обусловлена постепенным восстановлением нарушенного баланса продукционно-деструкционных процессов в экосистемах.

7. На основе многолетних наблюдений за изменением содержания и компонентного состава нефти в загрязненных водотоках определено влияние на динамику ее трансформации таких природных факторов, как скорость течения, глубина, характер донных отложений и микробиологическая активность. Среди рассмотренных водных экосистем самой низкой скоростью трансформации нефти характеризовались заболоченные участки ручья и океанического побережья, отличающиеся замедленным водообменом, илистым субстратом и дефицитом кислорода в воде и донных отложениях. Полученные данные позволили разработать методику оценки способности водных экосистем к самоочищению при нефтяном загрязнении.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Кузнецов А.Н. Закономерности трансформации разлившейся нефти в водных экосистемах // *Материалы Всероссийской научной конференции «Современные аспекты экологии и экологического образования»*. Казань: КГУ, 2005. С. 245 – 247.
2. Кузнецов А.Н. Подходы к классификации водных экосистем суши по их устойчивости к нефтяному загрязнению // *Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии*. Ростов-н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ АПСН, 2004. С. 113 – 124.
3. Кузнецов А.Н. Подходы к классификации и районированию водных объектов по их способности самоочищаться от нефтяного загрязнения // *Сборник*

- трудов научно-практической конференции «Лиманчик Экологические проблемы. Взгляд в будущее». Ростов-н/Д. ООО «ЦВВР», 2004. С 86 – 88
- 4 Кузнецов А.Н. Подходы к оценке способности водных экосистем самоочищаться от нефтяного загрязнения // *Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы экологической безопасности и сохранения природно-ресурсного потенциала»* Ставрополь: ООО «Агентство СН», 2004 С. 105 – 107.
 - 5 Кузнецов А.Н. Разработка метода оценки самоочищающей способности водных экосистем на основе данных многолетних наблюдений за трансформацией нефтяного загрязнения // *Научный альманах Южного федерального округа*. 2005. Вып. 2. С. 146 – 149.
 - 6 Кузнецов А.Н. Скорость деградации нефтяного загрязнения в водных экосистемах и ее зависимость от факторов окружающей среды // *Сборник трудов 2-й научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее»* Ростов-н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2005. С 72 – 75.
 - 7 Кузнецов А.Н. Углеводороды современного биогенного происхождения в донных отложениях водотоков, подвергшихся аварийному нефтяному загрязнению // *Тезисы докладов 16-й Международной научной школы по морской геологии «Геология морей и океанов»*. Т 2. М.: Геос, 2005. С. 218 – 219
 - 8 Федоров Ю.А., Ищенко А.А., Денисов В И, Кузнецов А.Н. Нефтяное загрязнение и его трансформация в водных экосистемах районов интенсивного судоходства и дампинга грунтов дноуглубления // *Материалы международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон»* С -Пб : РГТУ, 2005 С 97 – 98
 - 9 Федоров Ю А., Кузнецов А Н. Длительные наблюдения за трансформацией нефти в поверхностных и подземных водах и донных отложениях на месте нефтяного разлива // *Сергеевские чтения* Вып. 6. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития (материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии). М.: Геос, 2004. С. 304 – 307
 - 10 Федоров Ю А , Кузнецов А Н О новых подходах к районированию поверхностных вод с учетом показателей естественных процессов деградации нефти в окружающей среде // *Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии (труды международной конференции)*. Томск: ТФ ИГНГ СО РАН, 2004. С. 317 – 321.
 - 11 Федоров Ю А., Фатгаль П, Кузнецов А.Н Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в речных и литоральных экосистемах // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион* Естественные науки. 2005. № 4. С. 68 – 72.
 12. Fedorov Y.A., Kouznetsov A.N Oil transformation in freshwater ecosystems according to a long-term study of an oil spill // *4th European Meeting on Environmental Chemistry (book of abstracts)*. Plymouth, 2003. P 141

Подписано в печать 22.11.05

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная
Объем 1,0 физ. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 2206

ИПО РГПУ:

344082, г Ростов-на-Дону, ул Большая Садовая, 33

№ 24426

РНБ Русский фонд

2006-4

29372