

УДК 622.23:502.3:823.2.003.1

**И.В. Круподеров., В.В. Мосейкин**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ  
НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ НЕФТЕБАЗЫ  
ОАО «ВОРОНЕЖНЕФТЕПРОДУКТ»**

*Рассмотрены методы выявления углеводородного загрязнения геологической среды, модель загрязнения и ее оценку и описывает методы изучения загрязнения подземных вод — газовая съемка, литохимическое и гидрохимическое опробование.*

*Ключевые слова: углеводородное загрязнение, оценка, подземные воды.*

**Н**ефтепродукты (НП) существуют в геологической среде в виде ряда четко различимых форм (адсорбированные, газообразные, жидкие, эмульгированные, растворенные в подземной воде). Растворенная форма, находящаяся в подземных водах, образует самое значительное по общему объему углеводородное загрязнение (УЗ): один литр нефтепродукта, растворенный в подземной воде, загрязняет тысячи ее кубометров. Процесс загрязнения подземных вод нефтепродуктами, в случае их аварийного (или постоянного) подземного просачивания, растягивается на десятки лет и рано или поздно начинает создавать проблемы безопасности жизни и деятельности человека.

Подземные воды, как и поверхностные – основной переносчик УЗ окружающей среды и в отличие от поверхностных вод, хуже самоочищаются. Меры ликвидации УЗ грунтов и подпочвенной атмосферы, должны всегда выбираться с учетом возможной опасности ухудшения качества подземных вод. В разработке программ по очистке участков УЗ недр ведущая роль отводится гидрогеологическому обоснованию мероприятий.

Гидрогеологическое обоснование защитных мероприятий – определение основных принципов и методов ограничения развития загрязнения всех компонентов геологической среды и в первую очередь — подземных вод, восстановление их физико-химического состояния. Выделяются ликвидационные и локализационные защитные мероприятия.

Ликвидация УЗ – комплекс мер восстановления химического состава грунтов и качества подземных вод до исходного состояния. Локализация – снижение уровня загрязнения до допустимого уровня и прекращение его дальнейшего распространения.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что полная ликвидация УЗ геологической среды, включая подземные воды, задача весьма трудоемкая и, как правило, практически до конца невыполнимая. В связи с этим, наиболее реальным является локализация УЗ геологической среды.

Моделирование УЗ гидрогеологической среды выполнено на основе данных комплекса работ по гидрогеологическому обоснованию, локализации и организации мониторинга угле-

водородного загрязнения грунтовых вод на территории Воронежской нефтебазы ЗАО «Воронеж-Терминал».

Гидрогеологическими исследованиями АООТ «Воронежстройизыскания», начатыми в 1994 г. и продолженными совместно ФГУП «Воронежгеология» и ФГУП «ВСЕГИНГЕО» в 2000-2004 гг. была создана наблюдательная сеть из 23 мониторинговых скважин, которые проходились ударно-канатным способом диаметром 127 мм. Фильтр длиной 5,0 м устанавливался в интервале +1,0 м выше уровня нефтепродукта (НП) или подземных вод с учетом максимальных сезонных колебаний. Устья скважин зацементированы и оборудованы оголовками для ведения режимных наблюдений. Обоснованием мест заложения скважин наблюдательной сети послужили результаты газовой съемки (ГС), принцип равномерного получения информации в центральных и краевых частях линзы НП, нефтепродуктов, а также вероятные и наиболее опасные направления распространения грунтовых вод.

**Газовая съемка.** По данным ГС установлено, что фоновая концентрация суммы углеводородных газов и паров (УГ) –  $(144) \times 10^{-4}$  % об. Значения содержаний суммы УГ наиболее часто встречаемые в подпочвенном воздухе —  $2 \times 10^{-4}$  %, что соответствует результатам фоновых измерений на других объектах. Площадь территории нефтебазы, в пределах которой грунты содержат взрыво-, пожароопасные газы с концентрацией  $>1$  % об., составляет 7га. Концентрация УГ  $10^{-3}$  % об. является для территории нефтебазы аномальной и предварительно по ней проводится контур очага углеводородного загрязнения неоген-четвертичного водоносного горизонта.

Основные параметры очага загрязнения грунтовых вод по результатам ГС (на 1.07.2000 г.) составляли: площадь очага углеводородного загрязнения — 44 га; линейные размеры очага НП загрязнения: длина — 800, ширина — 550 м; площадь контура линзы жидких НП на поверхности грунтовых вод — 21 га; площадь «ядра» линзы — 14 га.

По результатам ГС, с учетом геолого-гидрогеологических и техногенных условий, была обоснована конструкция и рекомендовано заложение 10 наблюдательных скважин мониторинговой сети для заверки и уточнения масштабов загрязнения, ведения мониторинга и обоснование защитных мер. Пробуренные ранее и новые специализированные наблюдательные скважины (фоновые, «нефтяные», «водяные») образуют два взаимно перпендикулярных профиля. Основной профиль скважин проектировался по главной линии тока и предназначался для контроля перемещения фронта загрязнения и линзы НП вниз по потоку грунтовых вод. Поперечный профиль из трех скважин проектировался для контроля ширины области загрязнения.

Строительство 1-й очереди наблюдательных скважин в 2001 г. показало, что поставленные перед атмогеохимическими работами задачи решены вполне удовлетворительно. Выявленные аномалии содержания УГ в зоне аэрации достоверно характеризуют положение подземной линзы НП и контуры распространения водорастворенных углеводородов, соответственно и границы очага загрязнения НП подземных вод. Размещение наблюдательных скважин 2-ой очереди планируется произвести по результатам годового мониторинга очага загрязнения.

Наличие в подземной атмосфере пожаро-, взрывоопасных концентраций УГ требует искусственной дегазации подземного пространства и контроля содержания УГ в зоне аэрации. Поэтому по площади распространения пожаро-взрывоопасных концентраций УГ пробурена сеть вентиляционных скважин, предназначенных для снижения концентраций УГ до безопасных содержаний и ведения за ними постоянного контроля. Бурение выполнено шнеко-колонковым способом, диаметром 84 мм, глубиной 10,0 м с установкой перфорированного фильтра в интервале 3,0-10,0 м. Пробурено 15 скважин общим метражом 150,0 м. При прохождении наблюдательных скважин производился отбор подпочвенного воздуха с шагом обора 2,0 м отобрано и проанализировано в лаборатории НТЦ ВСЕГИНГЕО 75 проб.

#### **Литохимическое опробование.**

Для почв и грунтов значение ПДК по нефтепродуктам в нормативных документах отсутствует, поэтому для определения величин их загрязнения приняты следующие допущения:

— За величину ПДК условно принято фоновое значение содержания НП в почвах и грунтах Воронежского государственного заповедника равное 32 мг/кг (данные бывшего Госкомэкологии по Воронежской области и органов ГСЭН);

— Градация степени загрязненности почво-грунтов НП проведена по инструкции [1]. Согласно инструкции содержание нефтепродуктов в почво-грунтах считается: до 1000 мг/кг – низким, 1000-2000 – средним, 2000-3000 – высоким, >3000 мг/кг – очень высоким.

Результаты площадного опробования почво-грунтов, выпол-

ненного Мешерским филиалом ГНУ ВНИИГиМ показали, что содержание в них нефтепродуктов вокруг промплощадки Воронежской нефтебазы находится на уровне фоновых значений или же в 3-5 раз превышает ПДК (24-155 мг/кг). Установлено два небольших участка (автобаза и автогаражный кооператив), где содержание нефтепродуктов в почво-грунтах очень высокое (3108 и 3645 мг/кг), что обусловлено деятельностью самих предприятий.

Территория нефтебазы характеризуется повышенными значениями содержания НП в почво-грунтах (до 26 ПДК), но не превышает низкого загрязнения (до 1000 мг/кг). Только в трех точках (железнодорожная эстакада, трубопровод и гараж) содержание НП очень высокое (4320-6700 мг/кг), что связано с общим загрязнением промплощадки нефтебазы.

Контрольным отбором проб от железнодорожной эстакады в северном направлении подтверждено, что загрязненность поверхности территории нефтебазы не носит сплошной характер, а является локальной (пятнистой) [2].

Пробы грунтов из скважин характеризуют зону аэрации, приуроченную, в основном, к промплощадке нефтебазы. Наиболее высокое количество НП присутствует в грунтах скважин, располагающихся в «ядре» линзы НП. Так, например, (рис. 1) в скв. №1 (ж/д эстакада) наблюдается максимальный уровень загрязнения пород зоны аэрации перед самым водоносным горизонтом на глубине 14 м – 9600 мг/кг, на глубине 17,9 м – 2600 мг/кг. В скв. № 2н и № 5в (резервуарные парки) максимальное содержание нефтепродуктов в породах

зоны аэрации также установлено перед самым водоносным горизонтом (на глубинах 14,6-18,1 м от 1378 до 2680 мг/кг). Это свидетельствует о том, что загрязнение возникло давно, ни один десяток лет тому назад. Напротив, в скв. № 5г и № 4н в 40-50 м к западу от резервуарных парков максимальная степень загрязнения грунтов отмечается сверху на глубине 1-4м (1300-4287 мг/кг). Эти данные свидетельствуют о том, что здесь происходит процесс современного загрязнения грунтов нефтепродуктами.

Анализом результатов литохимического опробования установлено:

— породы зоны аэрации на территории промплощадки нефтебазы, в целом, имеют низкий уровень загрязнения (до 1000 мг/кг);

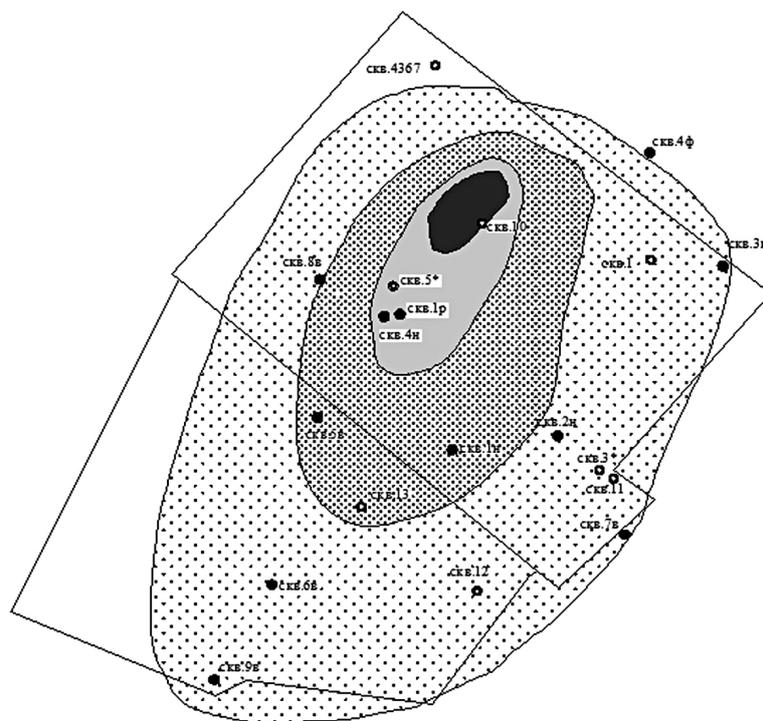
— высокая степень загрязнения грунтов нефтепродуктами (>2000 мг/кг) отмечена в трех точках, пространственно совпадающих с границами развития линзы жидких нефтепродуктов (по данным газовой съемки). Максимальное содержание нефтепродуктов отмечено непосредственно вблизи уровня залегания линзы — до 9600 мг/кг и в приповерхностном слое (до глубины 4.0 м) — до 4287 мг/кг. В средней части разреза зоны аэрации НП отсутствуют или содержание их не превышает 106-623 мг/кг. Данные показывают, что процесс загрязнения геологической среды в районе Воронежской нефтебазы начался давно, несколько десятилетий назад и идет в настоящее время;

— содержание свинца по пробам грунтов колеблется от 1,1 до 8,7 мг/кг, что значительно ниже ПДК (20 мг/кг). Отмечается уменьшение количества его сверху вниз (до УГВ) в 2-5 раз.

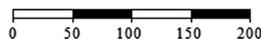
**Гидрохимическое опробование.** Наблюдения за уровнями подземных вод (УПВ) и водонефтяного контакта (УВНК) производились по 12 пробуренным и 5 сохранившимся ранее пробуренным скважинам, т.е. количество скважин мониторинговой сети на весну 2002года составляло 17. Периодичность замеров УПВ и УВНК осуществлялась 1 раз в месяц. Всего произведено 109 замеров УПВ и 24 – мощности линзы нефтепродуктов. Новые скважины вовлекались в режимные наблюдения по мере их проходки. Из этого количества площадь развития линзы, состоящей из чистого нефтепродукта, характеризуют 11 скважин, зону загрязнения в виде водоэмульсионного раствора – 4. Вне контура загрязнения пройдено 2 скважины.

Линза жидкого НП оконтурена по замерам мощности в скважинах. Пространственно она приурочена к территории промплощадки – основному источнику загрязнения и совпадает с «ядром» линзы, определенной по данным газовой съемки. Линза расположена на поверхности грунтовых вод, имеет куполовидную форму высотой 0,7 м над этой поверхностью. Размер ее 320х400 м, площадь 12-13 га, при средней мощности 0,81м (0,69 – 1,29 м) и слабо вытянута в ЮЗ направлении. Институт ВСЕГИНГЕО при построении карты распространения загрязнения принял крайние значения мощности линзы – 0,01 м. Поэтому при определении количества НП в линзе, приняты данные ВСЕГИНГЕО по состоянию на май 2001 г., а именно, площадь линзы 25,4 га.

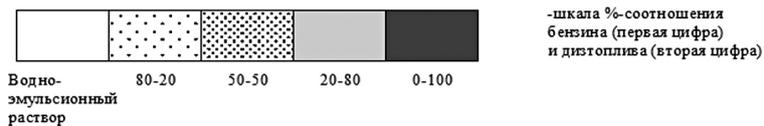
Анализ проб взятых с зеркала линзы чистого нефтепродукта показывает, что он состоит из смеси бензина и



Масштаб 1:5000



Условные обозначения



● скв.10 -наблюдательная скважина, пробуренная АООТ "Воронежстройгизыскания" в 1994-1995гг., и её номер

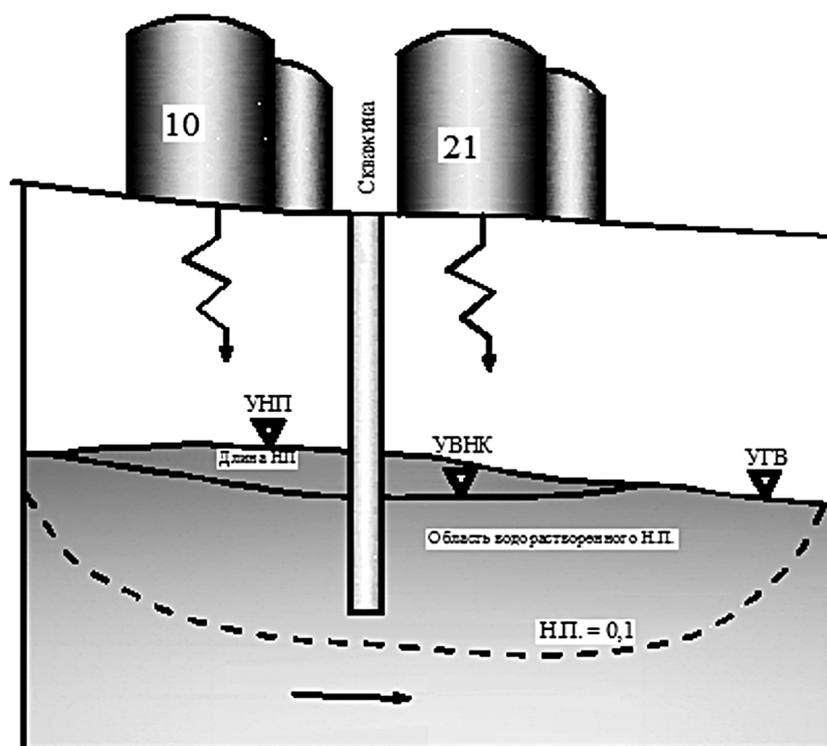
● скв.6б -наблюдательная скважина, пробуренная ФГУ ГП "Воронежгеология" в 2000-2001гг., и её номер

-контур загрязнения нефтепродуктами подземных вод неоген-четвертичного водоносного комплекса

-территория Воронежской нефтебазы

**Рис. 1. Схематическая карта качественного состава нефтепродуктов в пределах загрязненного контура неоген-четвертичного водоносного комплекса**

## НЕФТЕХРАНИЛИЩЕ



**Рис. 2.** Схема распространения загрязняющих нефтепродуктов в грунтовом водоносном горизонте. УНП – уровень жидкого нефтепродукта, УВНК – уровень водонефтяного контакта, УГВ – уровень грунтовых вод, Н.П. = 0,1 – контур распространения грунтовых вод с концентрацией растворенного нефтепродукта выше ПДК – 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, → – направление движения подземных вод

дизтоплива в различных пропорциях (рис. 1). В скв. №10 проба целиком состоит из дизтоплива, а материал пробы скв. №3в имел розовато-красную окраску, напоминающую старый бензин марки АИ-72. Остальные пробы имели темно-коричневые до черного цвета, обусловленные вероятно присутствием в их составе различных масел.

Очаг загрязнения в неоген-четвертичном водоносном комплексе совпадает с контуром загрязнения нефтепродуктами, выделенным

ВСЕГИНГЕО, его размеры 350x750 м, площадь 41—42 га.

Выполненный комплекс эколого-геологических и химико-аналитических исследований с учетом фондовых и литературных материалов позволяет сделать следующие выводы:

Неоген-четвертичный водоносный комплекс на территории Воронежской нефтебазы загрязнен нефтепродуктами. Загрязненный поток подземных вод имеет Ю–ЮЗ направление в сторону централизованного водозабора ВПС-9. Скорость про-

движения фронта загрязнения вниз по потоку подземных вод ввиду непродолжительности ведения мониторинга не определялась. По опыту работ, эта величина в стабильных природно-техногенных условиях может составлять несколько десятков метров в год.

Геолого-гидрогеологические условия в пределах Воронежской нефтебазы и прилегающих к ней территорий определяют практически полную естественную незащищенность геологической среды от проникновения и миграции в ней углеводородных и других загрязняющих веществ. Мало мощные прослои суглинков среди песков не имеют значительной протяженности в плане и не могут служить водоупорами для защиты вод неоген-четвертичного комплекса от проникновения НП.

Формирование УЗ подземных вод происходило, вероятно, в течение длительного более 40 лет времени, т.е. с начала эксплуатации нефтебазы.

**Оценка загрязнения водоносного комплекса нерастворенными (линза НП) и водорастворенными углеводородами.**

*Линза НП.* Для расчета по мониторинговым данным положения и изомощностей линзы НП использован программный пакет SURFER. Внешней границей линзы НП принята изолиния ее мощности 0,01 м (рис. 2). Наибольшая мощность НП (>0,5 м) отмечается в центральной части нефтебазы под участками эстакад и резервуарных парков. Площадь линзы НП в границах изолинии 0,5 м  $F = 8,7$  га. Для расчета текущего объема линзы НП использованы и приняты следующие параметры: площадь линзы НП ( $F$ ) = 253687 м<sup>2</sup>. Средневзвешенная мощность линзы НП ( $m$ ):  $m =$

$[(86731 \times 0,5) + (101339 \times 0,1) + (65617 \times 0,01)] : 253687 \approx 0,21$  м.

Значение активной пористости ( $n = 0,3$ ) среднезернистых песков принимаем в соответствии с [3]. С учетом этих параметров текущий объем ( $V$ ) гравитационных НП, образующих слой в форме линзы составляет:  $V = F \times m \times n = 253687 \times 0,21 \times 0,3 = 15982$  м<sup>3</sup>  $\approx 16$  тыс. м<sup>3</sup>.

Следует подчеркнуть, что приведенная величина отражает лишь тот объем НП, который образуется в скважинах (или в «большом колодце») за счет свободного стекания под действием силы тяжести. Общие запасы НП в грунтах существенно выше. Их величина в настоящее время не может быть определена, т.к. параметры водо- и нефтенасыщенности при выполнении литохимического опробования грунтов и химико-аналитических работ не выполнялись. Оценка общих запасов НП в очаге загрязнения будет выполнена на начальном этапе реабилитационных работ.

*Водорастворенные углеводороды.* Эта миграционная форма НП определяет масштабы загрязнения подземных вод. Предельно-допустимая концентрация НП в воде составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup> [4]. Изолиния ПДК<sub>НП</sub> принята условной границей области нефтепродуктового загрязнения подземных вод.

Для расчета положения и изоконцентраций НП в подземных водах использован программный пакет SURFER. Из-за низкого качества исходной гидрогеохимической информации и большого разброса значений концентраций ( $C$ ) для одних и тех же пунктов мониторинга, поиск наиболее вероятных значений  $C$  производился путем расчетов, потребовавших значительных затрат времени. В этой

связи полученные оценки рассматриваются только, как предварительные.

Контур области растекания водорастворенных углеводородов по форме аналогичен контуру линзы НП. Фронт загрязненных подземных вод продвигается в Ю-ЮЗ направлении.

Площадь области загрязнения подземных вод нефтепродуктами с содержанием  $>0,1 \text{ мг/дм}^3$  по состоянию на май 2001 г. составила приблизительно 37,3 га. Очаг области загрязнения, с аномально высокими концентрациями НП в воде ( $C > 100 \text{ ед. ПДК}$ ), занимает более 50 % всей площади и составляет 20,3 га. В мае 2001г. средневзвешенное по площади содержание НП в подземных водах составляло  $16,4 \text{ мг/дм}^3$  (164 ед. ПДК). Масштабы загрязнения подземных вод нефтепродуктами (площадь распространения и концентрации) будут уточнены на начальном этапе выполнения реабилитационных работ.

#### **Обсуждение результатов исследований.**

На основе материалов ГС обосновано размещение и создана сеть наблюдательных скважин, дана предварительная оценка масштабов загрязнения недр нефтепродуктами, осуществляется мониторинг подземных вод. Сеть наблюдательных скважин на территории Воронежской нефтебазы, позволила определить размеры линзы жидких НП и контур загрязнения нефтепродуктами неоген-четвертичного водоносного горизонта, начать мониторинговые наблюдения за очагом загрязнения подземных вод, наметить направление дальнейших исследований — проведение опытно-реабилитационных работ.

Под площадкой нефтебазы на глубине 13,8-18 м на поверхности нео-

ген-четвертичного водоносного комплекса сформировалась линза НП, размеры которой в мае 2001 г. характеризовались параметрами: площадь — 25,4 га (в том числе «ядро» линзы — до 14 га); средневзвешенная по площади мощность-0,21 м; объем жидких нефтепродуктов в линзе 16 тыс.  $\text{м}^3$ . Линза НП состоит из смеси дизтоплива с бензином в различных пропорциях: в скв.10 она состоит практически из дизтоплива, а в скв. Зв — преимущественно из бензина, по остальным скважинам соотношение бензин: дизтоплива = 20:80, и реже — 50:50.

Учитывая экологическую опасность НП загрязнения (пожаро-, взрыво-, токсикологическую угрозу), ограничению распространения и постепенной ликвидации подлежат следующие миграционные формы НП: жидкие нефтепродукты (линза НП), водорастворенные, эмульгированные, а также газообразные углеводороды.

Поток грунтовых вод и фронт его загрязнения (краевая часть линзы НП) движется в ЮЗ направлении с вероятной скоростью 10-20 м в год. При такой скорости движения опасности загрязнения водозабора № 9, находящегося в 4-4,5 км южнее Воронежской нефтебазы в обозримом будущем не предвидится.

Загрязнение нефтепродуктами грунтов на Воронежской нефтебазе полностью ликвидировать не представляется возможным. Речь может идти лишь об уменьшении распространения загрязнения по площади, локализации и уменьшении по объему «ядра» линзы, состоящего из чистого нефтепродукта, путем бурения реабилитационных скважин.

Масштабы загрязнения подземных вод, скорость продвижения фронта загрязнения подлежат уточнению после сооружения наблюдательной сети скважин 2-й очереди, на стадии предпроектных работ и начальном этапе локализации очага загрязнения.

Мониторинг линзы НП при дальнейших реабилитационных работах должен включать систематические замеры по наблюдательным скважинам: мощности линзы, уровня подземных вод, отбор проб воды на определение содержания НП, и в обязательном порядке контроль с помощью ГС целостности линзы НП.

Проведение реабилитационных работ с целью ограничения и уменьшения дальнейшего распространения

загрязненных вод на участке Воронежской нефтебазы возможно лишь гидродинамическими методами, включающими: принудительное стягивание контура загрязнения защитными дуплетными откачками и устройство инфильтрационных завес. Для этого необходимо пробурить опытно-реабилитационную скважину большого диаметра и оборудовать ее двумя насосами: первый — должен находиться собственно в линзе НП, а второй — в водоносном горизонте с целью создания воронки депрессии, выполнить опытную откачку для получения расчетных гидрогеологических параметров и использовать последние для планирования последующих собственно-реабилитационных скважин.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения химическими веществами» Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ и Роскомзем, Москва, 1993.

2. Эколого-геологические работы по организации мониторинга ВФ АООТ «Воронежнефтепродукт». Мещерский филиал ВНИИГиМ, Рязань, 1997. Фонды ВТЦ ГМГС ФГУГП «Воронежгеология».

3. Справочное руководство гидрогеолога. Т.1. М.: Недра, 1979.

4. СанПиН 2.1.4. 1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Утв. и введ. в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача 24.10.96, № 24. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мосейкин Владимир Васильевич — доктор технических наук, профессор,

Круподеров Илья Владимирович — аспирант,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

