

УДК 628.556.3:502

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК НЕФТЕПРОДУКТОВ В ИНТРУЗИВНЫХ МАССИВАХ

© 2019 г. А. А. Скалин^{1,*}, А. В. Скалин¹

¹ООО «Научно-производственное объединение «Уралгеоэкология»,
ул. Мельковская, 9, Екатеринбург, 620027 Россия

*E-mail: inform@uralgeoecology.ru

Поступила в редакцию: 9.01.2019 г.

После исправления: 14.03.2019 г.

Описывается методика инженерно-экологических изысканий техногенного загрязнения эмульгированными нефтепродуктами подземных вод интрузивных массивов Восточно-Уральской гидрогеологической складчатой области. Рассматриваются особенности безопасного устройства гидрогеодинамических ловушек светлых нефтепродуктов на границе пористых коллекторов кор выветривания и трещиноватых магматических пород. Даются рекомендации по применению способа гидрогеодинамической очистки от взвешенных смесей бензина, дизельного топлива и керосина на примерах обеспечения промышленной и экологической безопасности нефтехранилищ Среднего Урала.

Ключевые слова: нефтехранилище, загрязнение подземных вод, безопасность, эмульгированные нефтепродукты, гидрогеодинамическая ловушка, водоочистка в двухслойном пласте, интрузивные массивы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019375-82>

ВВЕДЕНИЕ

На территории нефтехранилищ светлых нефтепродуктов (бензина, дизельного топлива и керосина) возможны утечки, приводящие к техногенному загрязнению подземных вод. Для промышленной и экологической безопасности топливо-заправочных комплексов наибольшие геориски создают линзы взвешенных (эмульгированных) нефтепродуктов (ВН), плавающих на поверхности подземных вод. Например, при подтоплении подвальных помещений подземными водами, загрязненными ВН, возможно образование токсичных и взрывоопасных паров. При увеличении градиента напора линзы ВН могут мигрировать за границы санитарно-защитных зон нефтебаз.

Предметом настоящих исследований являются процессы отделения эмульгированных нефтепродуктов от подземных вод в безнапорном двухслойном пласте, результаты которых обосновывают средства и методы очистки. Способ отделения ВН от подземных вод в однородных песчаных пластах, осуществляемый с помощью ярусных откачек, известен [1, 4, 5, 8, 16]. Однако формальное применение этого способа для очистки от ВН подземных вод интрузивных гранитоидных массивов (ИГМ) гидрогеологических складчатых областей оказалось пожароопасным из-за вероятных самоизли-

вов. В этой связи возникла потребность в разработке адаптированного способа водоочистки от ВН, учитывающего уменьшение с глубиной коэффициентов нефте-, водоотдачи песчаных кор выветривания и трещиноватых магматических пород. Гидрогеодинамический способ очистки подземных вод от загрязнения ВН можно отнести к классу безреагентных (по аналогии с классификацией технологических схем водоподготовки в наземных сооружениях [15]). Гидрогеодинамическая очистка в водоносном пласте основана на использовании физического принципа расслоения несмешивающихся жидкостей, различающихся по плотности примерно на 20%. Для обозначения устройства очистки в пласте от загрязнения подземных вод ВН предлагается термин «гидрогеодинамическая ловушка» (ГДЛ). В класс реагентных можно выделить способ очистки подземных вод на геохимических барьерах, которые имеют электрохимическую природу [14].

Способ гидрогеодинамической очистки от взвешенных нефтепродуктов водоносных пластов двухслойного строения [9, 10] прошел производственные испытания на терминалах светлых нефтепродуктов Среднего Урала, находящихся на интрузивных гранитоидных массивах Восточно-Уральского поднятия, Большеистокском, Верх-Исетском и Седельниковском. По результатам

испытаний были разработаны меры по защите подземных вод от техногенного загрязнения ВН на территориях нефтебаз и автозаправочных станций, выполнение которых в г. Екатеринбурге было поручено НПО «Уралгеоэкология»¹.

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ИНТРУЗИВНЫХ МАССИВОВ

При инфильтрации нефтепродуктов в ИГМ может происходить формирование газогеохимических ореолов, частичное их поглощение песчаными образованиями кор выветривания, загрязнение растворенными и эмульгированными нефтепродуктами подземных вод водоносных зон тектонической трещиноватости магматических пород. Опыт проведения гидрогеоэкологических работ показывает, что в начальный период устранения загрязнения добыча ВН часто оказывается рентабельной за счет их реализации. В этой связи, с позиции геолого-экономического критерия, возможно обозначать большие скопления ВН на поверхности подземных вод термином “техногенные месторождения”, имеющие следующие поисковые признаки в зоне аэрации: газогеохимический – с взрывоопасными концентрациями метана 5-50%об, геохимический – при содержании поглощенных нефтепродуктов песчаным элювием 1-15%вс. Косвенным поисковым признаком является гидрогеоэкологический, указывающий на водоносные зоны тектонической трещиноватости ИГМ с коэффициентом водопроницаемости 50-250 м²/сут, по которым возможна миграция ВН.

Газогеохимические исследования производятся при картировании ореолов метана в зоне аэрации кор выветривания ИГМ, образующихся за счет испарения и биодegradации ВН [2, 12]. Ореолы метана с взрывоопасными концентрациями “сканируют” слои ВН на поверхности подземных вод и могут мигрировать вместе с ними при увеличении гидравлических уклонов.

По данным газогеохимической съемки *Седельниковского гранодиоритового массива*, выполненной в зимнюю межень 2014 г., приведем графики изменения содержания компонентов биогаза с глубиной (рис. 1). Подземные скопления ВН были представлены смесями бензина и дизельного топлива, находящимися примерно в равных соотношениях. Измерения производились газосигнализатором «Комета-М4» в наблюдательных скважинах диаметром 151 мм без обсадных труб с интервалами опробования по глубине 0.5 м.

При газогеохимических измерениях в зоне аэрации над слоями взвешенного бензина на поверх-

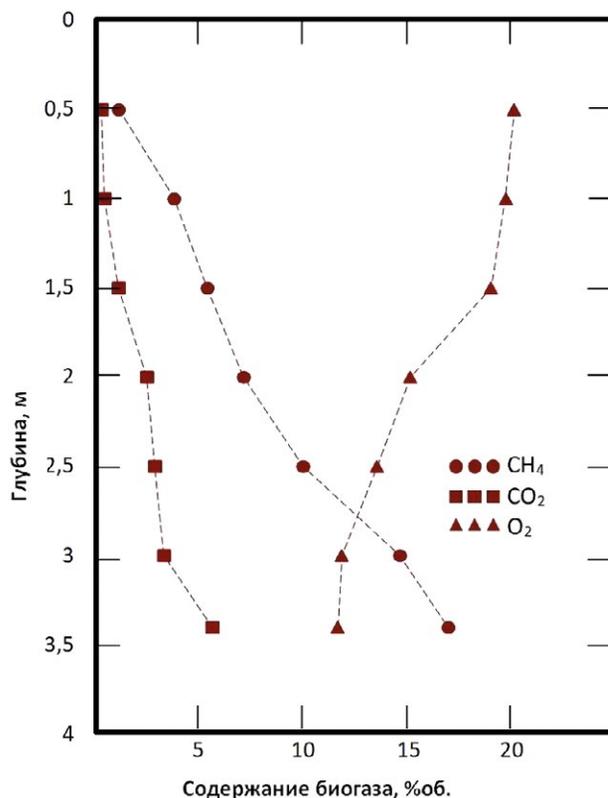


Рис. 1. Типичные графики изменения концентрации углекислого газа, кислорода и метана с глубиной замеров над подземным скоплением бензина в Седельниковском ИГМ через 3 суток после окончания бурения.

ности подземных вод было обнаружено, что концентрация метана сразу после окончания бурения могла достигать 50%об. Через несколько суток произошло испарение бензина в стволе скважин, что засвидетельствовано уменьшением концентрации метана в 2-3 раза. В качестве типичного приведем пример изменения с глубиной компонентов биогаза в зоне аэрации по наблюдательной скв. 75 через трое суток после окончания бурения (%об.): метан – от 1.2. сверху до 17.0 внизу, углекислый газ – от 0.3 до 5.6, кислород – от 20.2 до 1.7 (см. рис. 1). При этом средневзвешенное содержание метана в элювиальных дресвянистых песках зоны аэрации мощностью 3.5 м составило 8.5 %об., что по критериям оценки степени газогеохимической опасности грунтов при инженерно-экологических изысканиях, согласно СП 47.13330.2012, табл.8.1, указывает на их пожаро- и взрывоопасность. Это означает, что при загрязнении подземных вод быстро испаряющимся бензином следует производить газогеохимические измерения в наблюдательных скважинах сразу после окончания бурения.

Геохимические исследования выполняются при картировании ореолов нефтепродуктов, поглощенных песчано-глинистыми образованиями

¹ Постановление Главы города Екатеринбурга № 418 от 29.05.98 г.

коры выветривания ИГМ, которые впоследствии могут стать источниками вторичного загрязнения подземных вод. На примере данных геохимической съемки *Верх-Исетского гранитоидного массива*, произведенной в зимнюю межень 1989 г., установлена корреляционная связь между концентрациями дизельного топлива, поглощенного песчано-дресвяным элювием, и в водных вытяжках. На железнодорожной станции Свердловск-Сортировочный (04.08.88 г.) произошел взрыв двух вагонов с гексогеном, вызвавший пожар на складе дизельного топлива. В резервуарах хранилось 3419 т дизельного топлива, а после его выгорания и просачивания в ИГМ в них осталось только 530 т. В семи скважинах, находившихся вблизи глиняной обваловки сгоревших резервуаров, был произведен поинтервальный отбор 35 проб песчаного элювия (через 0.3 м по глубине зоны аэрации). Статистическое обобщение результатов анализов позволило установить линейную зависимость между поглощенным и вымываемым дизельным топливом (рис. 2).

В пробах песка, взятых из верхней части зоны аэрации, содержание поглощенного дизельного топлива составляло около 1% вес. (10 г/кг), а в водных вытяжках из него — около 20 мг/дм³, что близко к величинам его растворимости 8-22 мг/дм³ [5]. В пробах песка, отобранных из капиллярной каймы, содержание поглощенного дизельного топлива достигало 4.7% вес. (47 г/кг), а в водных вытяжках растворенного и эмульгированного дизельного топлива — 170 мг/дм³. По результатам выполненных геохимических исследований был сделан прогноз, что при загрязнении нефтепродуктами элювиальных песков ИГМ зоны аэрации свыше 1% вес. будет происходить их вымывание инфилирующими атмосферными осадками с образованием слоя взвешенного дизельного топлива на поверхности подземных вод. Последующий мониторинг подтвердил, что в период половодья на участках с содержанием сорбированного дизельного топлива 10-15% вес. слой эмульгированного дизельного топлива над поверхностью подземных вод нарастал со скоростью около 0.1 м/сут.

Нужно отметить, что методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных отложениях методом ИК-спектрометрии², действующая в настоящее время для целей государственного экологического контроля, не обеспечивает получение результатов анализов при определении бензина. Погрешности анали-

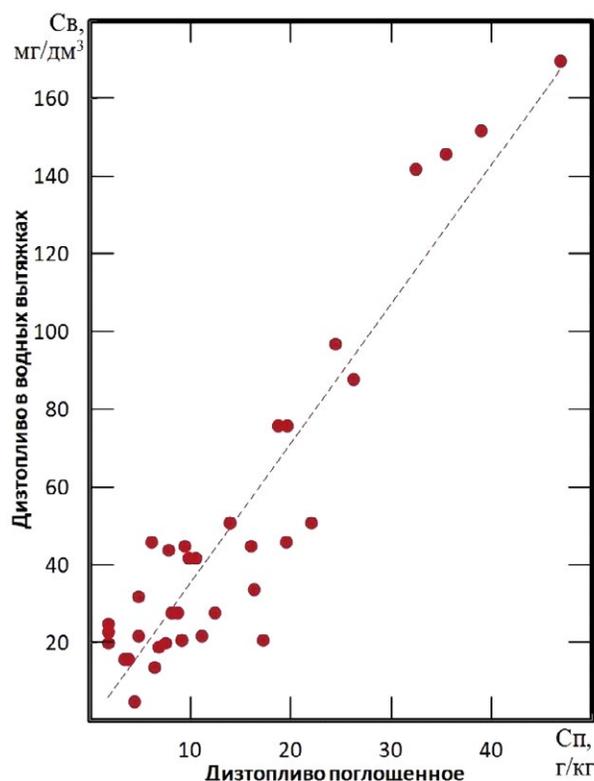


Рис. 2. График зависимости содержаний дизельного топлива в водных вытяжках (C_v , мг/дм³) от поглощенного песчаным элювием Верх-Исетского ИГМ (C_n , г/кг). Уравнение регрессии $C_v = 3.6 C_n - 0.6$; коэффициент корреляции 0.93.

зов обусловлены испарением бензина при технологически необходимым нагревании проб грунта.

Гидрогеоэкологические исследования проводятся для обнаружения водоносных зон тектонической трещиноватости ИГМ, по которым происходит миграция ВН. При водопонижении в них создаются эллипсоидные воронки депрессии подземных вод, куда может происходить направленная миграция разрозненных линз ВН [11].

На примере *Восточно-Уральской гидрогеологической складчатой области* рассмотрим характерные особенности анизотропии свойств ИГМ [3, 13]. Геофильтрационная структура ИГМ определяется развитием зон региональной и тектонической трещиноватости. Сочетание слабоводоносных зон региональной трещиноватости с локальными водоносными зонами тектонической трещиноватости с коэффициентом водопроводимости 50-250 м²/сут обусловило концепцию о корово-блоковой структуре ИГМ. Анализ неоднородности интрузивных массивов по критерию среднеквадратичного отклонения логарифма водопроводимости обосновывает замкнутый характер элементарных бассейнов подземного стока, в которых депрессионные

² ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоинеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293831/4293831615.htm>

воронки водозаборов не выходят на соседние водосборные площади. На Среднем Урале характерные величины восполнения эксплуатационных ресурсов подземных вод ИГМ составляют: в водоносных зонах тектонической нарушенности — до $2.1 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$, в слабоводоносных зонах — $0.1\text{--}0.5 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$. Гравитационная водоотдача песчаных кор выветривания со значениями около 0.1 имеет определяющее значение в восполнении эксплуатационных ресурсов трещинно-жильных подземных вод в интрузивных породах, обладающих коэффициентом водоотдачи около 0.001. За счет периодической сработки емкостных запасов поровых подземных вод в корях выветривания в маловодные годы формируется до 50% общего водоотбора. При снижении динамических уровней депрессионных воронок ниже кор выветривания ИГМ прекращается приращение среднесуточной величины их восполнения.

УСТРОЙСТВО ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК НЕФТЕПРОДУКТОВ В ИНТРУЗИВНЫХ МАССИВАХ

Безопасное устройство ГДЛ должно учитывать уменьшение с глубиной коэффициентов гравитационной емкости — от песчаных кор выветривания к трещиноватым гранитам. Анизотропия емкостных свойств ИГМ влияет на величины подъема подземных уровней нефтепродуктов при их инфильтрации. Указанный процесс можно проиллюстрировать следующим примером: при просачивании дождевых осадков уровни подземных вод в трещиноватых гранитах поднимаются гораздо выше, чем в расположенных по соседству песчаных массивах [7]. Объем инфильтрующихся ВН из водоносных слоев в песчаной коре выветривания может превышать объем емкостного пространства трещиноватых интрузивных пород, участвующий в формировании гравитационных запасов, что создает потенциально возможную опасность их самоизлива из депрессионной воронки подземных вод.

Для предотвращения пожароопасных самоизливов взвешенных нефтепродуктов, накапливающихся в ГДЛ на границе пористых и трещиноватых коллекторов, возможно применение одного из двух технических решений по созданию дополнительных объемов породы, участвующих в накоплении гравитационных запасов нефтепродуктов, в зоне аэрации или насыщения.

Техническое решение по созданию дополнительных объемов в песчаном элювии зоны аэрации включает в себя сооружение специальных горизонтальных горных выработок, оборудованных фильтрами, для накопления смеси легких нефтепродуктов, которые не вместились в тре-

щинно-жильные коллекторы [9]. Для замедления процесса растекания ВН при восстановлении уровней подземных вод (в случае аварийных остановок откачек) производится устройство глиняных барражей по периметру основания депрессионного конуса. К недостаткам технического решения по созданию дополнительных объемов в песчаной коре выветривания зоны аэрации ИГМ следует отнести формирование опасных газогеохимических метановых ореолов над горизонтальными горными выработками, где накапливаются ВН. Данное обстоятельство не позволяет производить земляные работы в зоне аэрации на площади основания депрессионного конуса ВН.

Техническое решение по созданию дополнительных объемов в трещиноватых интрузивных породах зоны насыщения заключается в бурении вокруг водопонижительных скважин ГДЛ технологических скважин, оборудованных фильтрами или засыпаемых щебнем и создающих дополнительную емкость не менее 30 м^3 . В результате образуется дополнительная емкость в форме цилиндра. Для предотвращения миграции ВН в санитарно-защитную зону нефтебаз создаются гидравлические завесы при наливах или нагнетаниях откачиваемых вод в поглощающие скважины, сооружаемых в водоносных зонах тектонической трещиноватости ИГМ. В водоносных зонах ИГМ образуется водооборот с одновременной сепарацией ВН в ГДЛ. При равновеликих объемах накапливающихся ВН в депрессионных конусах и цилиндрах площади оснований последних и, соответственно, опасных газогеохимических метановых будут в 3 раза меньше при сниженной глубине залегания, что свидетельствует о большей безопасности такого устройства ГДЛ [10] по сравнению с вариантом сооружения дополнительных объемов породы в корях выветривания в зоне аэрации.

На примере *Седельниковского гранодиоритового массива* рассмотрим пространственно-временные изменения напора, формирующегося при откачке депрессионного конуса взвешенной смеси бензина и дизельного топлива. С помощью кругового вертикального электрического зондирования установлено простираание водоносной зоны тектонической нарушенности гранодиоритового массива с коэффициентом водопроводимости около $100 \text{ м}^2/\text{сут}$. По данным геофизического каротажа методами расходомерии и резистивиметрии с засолкой при наливах выявлены в разрезе водоносные зоны с коэффициентами фильтрации от 2.1 до 9.4 м/сут, приуроченные к трещиноватым жилам кварца или дайкам гранит-порфиров (рис. 3).

В центральной скважине 443 гидрогеологического куста глубиной 70 м был установлен стальной кондуктор на глубину 30 м с цементацией

затрубного пространства. Наблюдательные скважины куста обсажены сетчатыми фильтрами с поверхности земли до “крепкой скалы”. Опытная кустовая откачка подземных вод производилась погружным электронасосом с дебитом 138 м³/сут. В воронке депрессии подземных вод ИГМ сформировался объемный конус взвешенной смеси бензина и дизельного топлива, затем начался самоизлив ВН на поверхность земли (см. рис. 3).

СПОСОБ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ИНТРУЗИВНЫХ МАССИВОВ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Технологический регламент гидрогеодинамической очистки водоносных зон трещиноватости ИГМ от взвешенных нефтепродуктов должен раз-

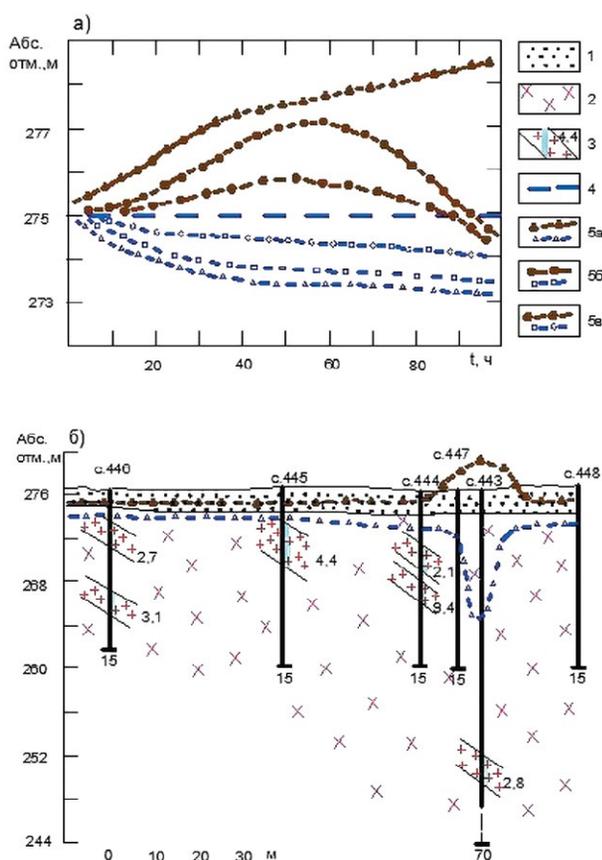


Рис. 3. Графики (а) формирования депрессионного конуса ГДЛ-443 взвешенной смеси бензина и дизельного топлива в Седельниковском ИГМ: 1 – песчаный элювий; 2 – трещиноватые гранодиориты; 3 – водоносные зоны в дайках гранит-порфиров (цифра справа – коэффициент фильтрации по расходомерии, К, м/сут); 4 – начальный уровень подземных вод; динамические уровни подземных вод (внизу) и нефтепродуктов (вверху) в наблюдательных скважинах (б): 5а – с. 447, 5б – с. 448, 5в – с. 445, при откачке из центральной скважины куста 443 с дебитом 138 м³/сут.

рабатываться применительно к модели безнапорного двухслойного пласта. Такая модель характеризуется коэффициентами нефте-, водоотдачи верхнего слоя в песчаном элювии и коэффициентом водопроводимости нижнего слоя в трещиноватых магматических породах [6]. Основное перетекание нефтепродуктов в ГДЛ происходит на этапе гравитационного режима, который наступает через десятки суток непрерывных откачек подземных вод.

На примере *Большеистокского гранодиоритового массива* рассмотрим динамику нефте-, водоотдачи песчано-глинистыми отложениями в эрозионно-тектонической депрессии. Водоносная зона тектонической трещиноватости гранодиоритов имеет субмеридиональное простирание, ширину около 100 м, коэффициент водопроводимости около 70 м²/сут, что на порядок выше слабоводоносной зоны региональной трещиноватости. На топливно-заправочном комплексе, расположенном на участке Большеистокского ИГМ и функционировавшем более 70 лет, хранился в основном керосин, в небольших объемах авиационный бензин и дизельное топливо. Вследствие загрязнения на поверхности подземных вод появились плавающие слоистые взвеси нефтепродуктов (“керосина”), имеющие в плане форму эллипса площадью около 100х300 м² и мощностью 0.1-1.5 м. Групповые откачки подземных вод выполнялись одновременно из трех ГДЛ, в каждой из которых объем извлекаемых гравитационных запасов вод из гранодиоритов дополнительно увеличен за счет технологических скважин на 30 м³. При откачках дебиты воды измерялись водомерными счетчиками. Расстояние между водопонижительными скважинами ГДЛ составляло примерно 80 м. На каждую водопонижительную скважину ГДЛ была предусмотрена водопоглощающая, что позволяло утилизировать откачиваемую воду и создавать водооборот. В паре с водопонижительными скважинами сооружены нефtezaborные скважины для откачки эмульсии “керосина” в резервуары-отстойники, из которых вода сливалась обратно в водоносный пласт. В нефtezaborные скважины производились ежемесячно налив горячей воды для раскольматации сетчатых фильтров от гелеобразных продуктов биохимической деструкции “керосина” в аэробной среде. В анаэробной среде водоносной зоны трещиноватых гранодиоритов не обнаружены свидетельства процессов биодegradации “керосина”. Исследование динамики нефтеотдачи и водоотдачи заключалось в установлении корреляционной связи между объемами откаченных из ГДЛ “керосина” и подземных вод (рис. 4). На этапе упругой водоотдачи продолжительностью около 50 суток в разные годы откачивалось 4-8 м³ “керосина” и соответственно 10 тыс. м³

подземных вод (связь между показателями параболическая). На этапе суммарной упругой и гравитационной водоотдачи уже добывалось 7-16 м³ “керосина” при откачке того же объема воды, т.е. устанавливалась линейная связь.

При очистке подземных вод Большеистокского ИГМ, производившейся в периоды летне-осенней межени с 1999 г. по 2014 г., было собрано из ГДЛ 764,7 тыс. дм³ “керосина”, качество которого исследовано по 285 пробам (рис. 5). Учет добытого “керосина” и его оплата осуществлялись по результатам взвешивания. Извлеченный “керосин” реализовывался, например, как печное топливо или компонент для приготовления зимнего дизельного топлива, что уменьшало себестоимость гидрогеоэкологических работ. По мере сработки емкостных запасов линзы ВН отмечается последовательное снижение рентабельности их извлечения.

ВЫВОДЫ

Для обеспечения промышленной и экологической безопасности нефтехранилищ рекомендуется проводить газогеохимический мониторинг в скважинах сразу после окончания бурения. Главным поисковым признаком в зоне аэрации на обнаружение линз взвешенных нефтепродуктов на поверхности подземных вод служат метановые ореолы с взрывоопасными концентрациями 5-50%об.

В центре гидрогеодинамических ловушек предлагается создавать дополнительные объемы в трещиноватых магматических породах, кото-

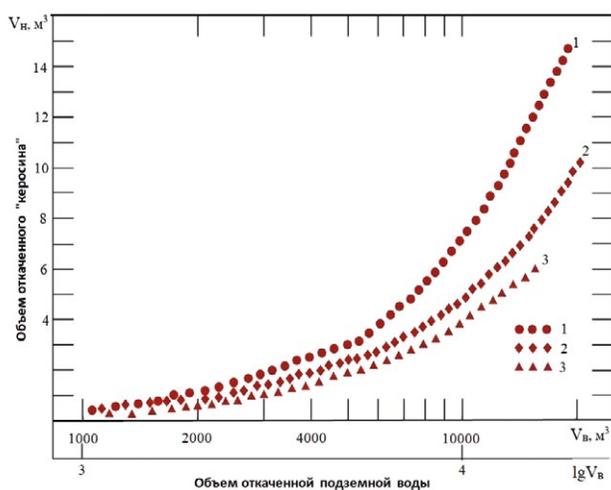


Рис. 4. Графики зависимости объемов добычи “керосина” ($V_n, \text{м}^3$) от объемов откаченных подземных вод ($V_v, \text{м}^3$) из ГДЛ-3 в Большеистокском ИГМ. Динамику снижения загрязнения характеризуют увеличивающиеся объемы выкачиваемых вод, необходимых для извлечения 1 м³ “керосина”: 1 — 2012 г. ~ 1800 м³, 2 — 2013 г. ~ 2900 м³, 3 — 2014 г. ~ 3700 м³.

рые участвуют в формировании гравитационных запасов взвешенных нефтепродуктов. Дополнительные объемы целесообразно создавать цилиндрической формы с помощью технологических скважин, чтобы предотвращать геориски самоизливов взвешенных нефтепродуктов из ловушек.

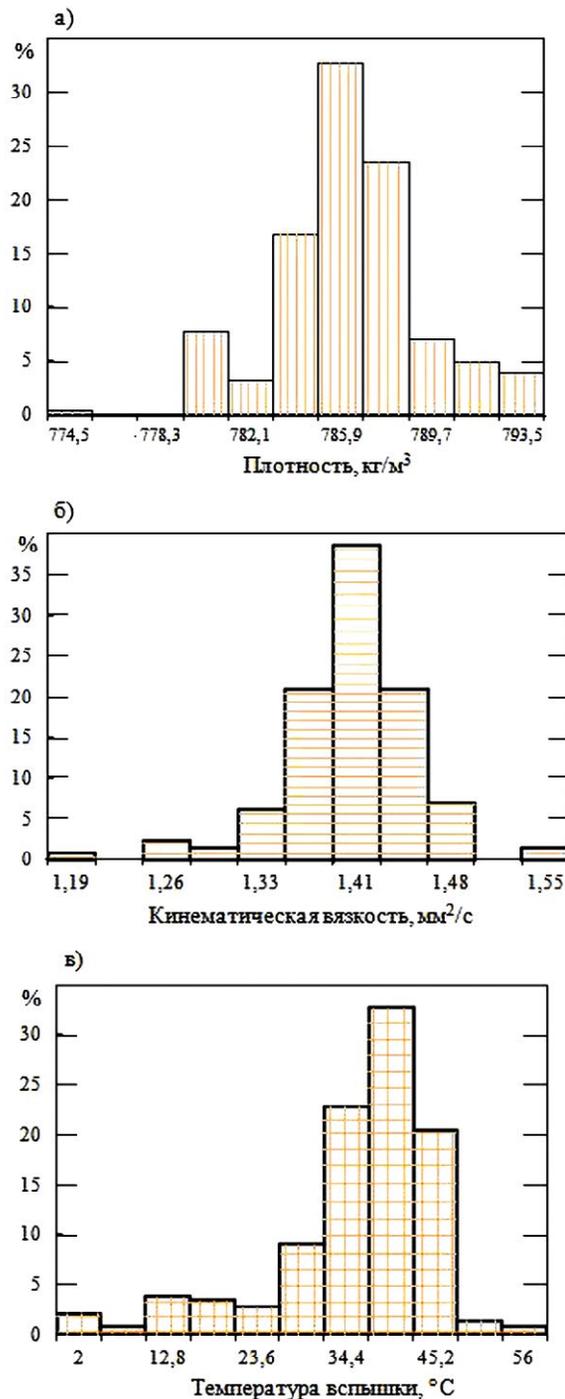


Рис. 5. Гистограммы распределения плотности (а), кинематической вязкости (б), температуры вспышки в закрытом тигле (в) по данным исследования смесей керосина, авиационного бензина, дизельного топлива, добытых в период 1994-2014 гг. из ГДЛ в Большеистокском ИГМ.

Гидрогеодинамический безреагентный способ очистки заключается в сепарации взвешенных нефтепродуктов при создании водооборота в водоносных зонах трещинно-жильных подземных вод. При этом достигается утилизация откачиваемых подземных вод при одновременном создании гидравлических завес против неуправляемой миграции эмульгированных нефтепродуктов. Откаченная водонефтяная эмульсия отстаивается в резервуарах, затем вода сливается в ловушки. Периодическая раскольматация фильтров нефтезаборных скважин от продуктов биодеструкции нефтепродуктов может производиться наливками горячей воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабушкин В.Д., Гаев А.Я., Гацков В.Г., Миронов С.В., Штерн В.О.* Научно-методические основы защиты от загрязнения водозаборов хозяйственно-питьевого назначения. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2003. 264 с.
2. *Боревский Л.В., Боревский Б.В., Кочетков М.В.* Методические рекомендации по выявлению, обследованию, паспортизации и оценке экологической опасности очагов загрязнения геологической среды нефтепродуктами. М.: ГИДЭК, 2002. 86 с.
3. *Боревский Б.В., Хордикайнен М.А., Язвин Л.С.* Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. М.: Недра, 1976. 247 с.
4. *Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения.* Центр международных проектов ГКНТ. М.: Недра, 1984. 410 с.
5. *Гольдберг В.М., Гадза С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
6. *Мироненко В.А., Шестаков В.М.* Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.: Недра, 1978. 325 с.
7. *Мироненко В.А.* Динамика подземных вод. М.: МГГУ, 2001. 519 с.
8. *Мироненко В.А., Румынин В.Г.* Проблемы гидрогеоэкологии. В 3-х томах. Т. 3 (кн. 2). Прикладные исследования. М.: МГГУ, 2002. 504 с.
9. Патент РФ № 2047542. Способ сбора нефтепродуктов из загрязненных водоносных пластов и гидрогеодинамическая ловушка для нефтепродуктов/ *Скалин А.В., Скалина Г.М.*; Опубл. 10.11.1995. Бюл. № 31.
10. Патент РФ № 2666561. Способ гидрогеодинамической очистки от нефтепродуктов водоносных пластов и гидрогеодинамическая ловушка для нефтепродуктов/ *Скалин А.В., Скалин А.А.*; Опубл. 11.09.2018. Бюл. № 26.
11. *Плотников Н.И.* Техногенные изменения гидрогеологических условий. М.: Недра, 1989. 268 с.
12. *Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И.* Процессы биохимической деградации нефтяных углеводородов в зоне аэрации и подземных водах // *Геоэкология*. 2018. №3. С. 43-55.
13. *Скалин А.А.* Опыт гидрогеологических изысканий в скальном массиве для высотного строительства «Екатеринбург-СИТИ» // *Жилищное строительство*. 2017. №11. С. 7-12.
14. *Скалин А.В., Скалин В.А., Скалин А.А.* Защита геохимическими барьерами месторождений подземных вод в долинах Среднего Урала // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2019. №1. С. 40-50.
15. *Фрог Б.Н., Левченко А.П.* Водоподготовка: Уч. пос. для вузов. М.: Изд-во МГУ, 2003. 680 с.
16. *Charbeneau R.J.* Models for design of free-product recovering systems for petroleum hydrocarbon liquids. Regulatory Analysis and scientific affairs department. API publication 4729; August 2003. 70 p

REFERENCES

1. Babushkin, V.D., Gaev, A.Ya., Gatskov, V.G., Mironov, S.V., Shtern, V.O. *Nauchno-metodicheskiye osnovy zashchity ot zagryazneniya vodozaborov khozyaistvenno-pit'evogo naznacheniya* [Scientific and methodological bases of protecting domestic drinking water intakes against pollution]. Perm, Perm. gos. univ. Publ., 2003, 264 p. (in Russian)
2. Borevskii, L.V., Borevskii, B.V., Kochetkov, M.V. *Metodicheskiye rekomendatsii po vyyavleniyu, obsledovaniyu, pasportizatsii i otsenke ekologicheskoi opasnosti ochagov zagryazneniya geologicheskoi sredy nefteproduktami* [Methodical recommendations on revealing, investigation, certification and assessment of environmental hazards of centers of geological environment pollution with petroleum products]. Moscow, GIDEK, 2002, 86 p. (in Russian)
3. Borevskii, B.V., Khordikainen, M.A., Yazvin, L.S. *Razvedka i otsenka ekspluatatsionnykh zasposov mestorozhdenii podzemnykh vod v treshchinno-karstovykh plastakh* [Prospecting and assessment of the useful groundwater resources in fracture-karst aquifers]. Moscow, Nedra, 1976, 247 p. (in Russian)
4. *Gidrogeologicheskiye osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya. Tsentr mezhdunarodnykh projektov GKNT* [Hydrogeological fundamentals of groundwater protection against pollution. The center for international projects, State Committee for Science and Technology]. Moscow, Nedra, 1984, 410 p. (in Russian)
5. Goldberg, V.M., Gadza S. *Gidrogeologicheskiye osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya* [Hydrogeolog-

- ical foundations of the groundwater protection against pollution]. Moscow, Nedra, 1984. 262 p. (in Russian)
6. Mironenko, V.A., Shestakov, V.M. *Teoriya i metody interpretatsii opytno-filtratsionnykh rabot* [Theory and methods of interpreting field filtration tests]. Moscow, Nedra, 1978, 325 p. (in Russian)
 7. Mironenko, V.A. *Dinamika podzemnykh vod* [Groundwater dynamics]. Moscow, MGGU, 2001, 519 p. (in Russian)
 8. Mironenko, V.A., Rumynin, V.G. *Problemy gidrogeologii. Tom 3 (kn.2) Prikladnye issledovaniya*. [Problems in hydrogeocology. Volume 3 (book 2). Applied studies.]. Moscow, Izd. MGGU, 2002, 504 p. (in Russian)
 9. *Patent RF No 2047542. Sposob sbora nefteproduktov iz zagryaznennukh vodonosnykh plastov i gidrodinamicheskaya lovushka dlya nefteproduktov* [Method of collecting petroleum products from contaminated aquifers and hydrogeodynamic trap for petroleum products]. Skalin, A.V., Skalina, G.M. Published 10.11.1995. Bull. no. 31. (in Russian)
 10. *Patent RF No 2666561. Sposob gidrogeodinamicheskoi ochistki ot nefteproduktov vodonosnykh plastov i gidrogeodinamicheskaya lovushka dlya nefteproduktov* [Method of hydrogeodynamic purification of aquifers from petroleum products and a hydrogeodynamic trap for petroleum products], Skalin A.V., Skalin A.A. Published 11.09.2018. Bull. no. 31. (in Russian)
 11. Plotnikov, N.I. *Tekhnogennye izmeneniya gidrogeologicheskikh uslovii* [Human-induced changes of hydrogeological conditions]. Moscow, Nedra, 1989, 268 p. (in Russian)
 12. Putilina, V.S., Galitskaya, I.V., Yuganova, T.I. *Protsessy biokhimicheskoi degradatsii neftyanykh uglevodородов v zone aeratsii i podzemnykh vodakh* [Processes of petroleum hydrocarbons degradation in the aeration zone and groundwater]. *Geoekologiya*, 2018, no. 3, pp. 43-55. (in Russian)
 13. Skalin, A.A. *Opyt gidrogeologicheskikh izyskaniy v skal'nom massive dlya vysotnogo stroitel'stva "Ekaterinburg-CITY"* [Experience of hydrogeological prospecting in a rock massif for the "Ekaterinburg-CITY" high-rise construction]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2017, no. 11, pp. 7-12. (in Russian)
 14. Skalin, A.V., Skalin, V.A., Skalin, A.A. Zashchita geokhimicheskimi bar'erami mestorozhdenii podzemnykh vod v dolinakh Srednego Urala [Geochemical barrier protection of groundwater deposits in the Middle Urals valleys]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problem, tekhnologii, upravlenie*. 2019, no. 1, pp. 40-50. (in Russian)
 15. Frog, B.N., Levchenko, A.P. *Vodopodgotovka* [Water preparation]. Moscow, MGU Publ., 2003, 680 p. (in Russian)
 16. Charbeneau, R.J. Models for design of free-product recovering systems for petroleum hydrocarbon liquids. Regulatory Analysis and scientific affairs department. API publication 4729; August 2003. 70 p.

HYDRODYNAMIC TRAPS FOR PETROLEUM PRODUCTS IN THE INTRUSIVE MASSIFS

© 2019 A. A. Skalin^{1*}, A. V. Skalin¹

¹"Uralgeoekologia" Research and Production Co. Ltd.,
ul. Mel'kovskaya, 9, Yekaterinburg, 620027 Russia
*E-mail: inform@uralgeoecology.ru

We propose a method of hydrogeocological prospecting for anthropogenic contamination with emulsified petroleum products of groundwater in the intrusive massifs of the Eastern Urals hydrogeological folded region. The method is the basis for designing the groundwater treatment with hydrogeodynamic traps. In the process of mapping, we find the indications for prospecting. We propose engineering solutions for safe arrangement of petroleum product traps adapted to heterogeneity geofiltration and capacitive properties of the intrusive massifs. We give recommendations concerning development of the technological schedules of oil mining and utilization of the disposed groundwater. We illustrate the granitoid massifs groundwater treatment in terms of purification from pollution with suspended mixtures of benzene, kerosene and diesel by examples of providing industrial and environmental security for oil storage facilities in the Middle Urals.

Keywords: *groundwater pollution, intrusive massifs, hydrogeocological prospecting, hydrogeodynamic traps, treatment against petroleum products, Middle Urals.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019375-82>