

УДК 624.131.4

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
ЛОКАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЯНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХРАНЫ ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ**

А.С. Чепрасова*, К.К. Кузеванов

Томский политехнический университет

*ОАО «НК Роснефть», г. Москва

E-mail: cheprasas@mail.ru

Чепрасова Анна Сергеевна, инженер ОАО «НК Роснефть», г. Москва.

E-mail: cheprasas@mail.ru

Область научных интересов: прикладная гидрогеология и гидрогеоэкология, проблемы загрязнения морских акваторий.

Кузеванов Константин Константинович, аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ.

E-mail: kki@tpu.ru

Область научных интересов: гидрогеология, геоинформационные системы, математическое моделирование гидрогеологических процессов.

Охарактеризованы условия ликвидации нефтяного загрязнения грунтовых вод на примере Черноморского побережья. Разработан и апробирован алгоритм обработки данных мониторинга с использованием геоинформационных технологий и численного моделирования.

Ключевые слова:

Мониторинг, математическая модель, подземные воды, граничные условия, мощность нефтепродуктов.

Key words:

Monitoring, mathematical model, groundwater, boundary conditions, oil capacity.

Проблема изменения геологической среды под влиянием техногенеза является наиболее актуальной для осваиваемых территорий. Под воздействием инженерных сетей и сооружений различного назначения происходит существенная перестройка природных связей, которая в промышленных центрах может приводить к необратимым последствиям [1].

Район исследований находится в приустьевой части речной долины на Черноморском побережье. Сеть предприятий нефтекомплекса, расположенных на берегах речной долины, существует с тридцатых годов прошлого столетия. Одновременно с развитием промышленных предприятий на поверхности грунтовых вод образовалось скопление нефтепродуктов. Оно вытянуто вдоль реки. Ориентировочная его длина достигает 500 м, ширина изменяется от 80 до 250 м, мощность нефтепродуктов достигает 1,5 м (по состоянию на 90-е гг. прошлого века). Масштабы линзы требуют проведения специальных мероприятий по локализации и ликвидации нефтяного загрязнения. Острота экологических проблем усиливается близостью русла реки и морского побережья.

Характеристика природных условий

Рельеф территории низкогорный и среднегорный сильно расчленённый с абсолютными отметками горных вершин 200...1000 м. Глубина эрозионного расчленения рельефа значительна. У берега моря превышение водораздельных гребней над днищем долин составляет 100...200 м, постепенно увеличиваясь до 600...800 м к верховьям.

Среднегодовая температура воздуха в районе исследований равна плюс 13,4 °С. Наиболее низкие температуры воздуха бывают в январе. Среднемесячная температура этого месяца составляет плюс 4,4 °С. В течение зимы отмечаются лишь отдельные морозные дни с отрицательной средней температурой. Днём температура воздуха повышается до 7...9 °С.

Средняя годовая сумма осадков значительная и составляет 1264 мм. В холодный и теплый период времени выпадает, примерно, одинаковое количество осадков. Зимние осадки продолжительны, поэтому их максимум (140 мм) приходится на декабрь. Летние осадки обычно кратковременные, но иногда они принимают характер катастрофических ливней. Наиболее сухим месяцем является май (58 мм).

Расчлененный рельеф, положительная среднегодовая температура воздуха и обилие атмосферных осадков создают благоприятные условия для формирования поверхностного стока, определяя особенности уровня режима поверхностных вод. Период высокого стояния воды в реке приходится на зимний сезон с ноября по март. В апреле уровни постепенно снижаются и к августу – октябрю достигают минимума. Амплитуда колебания уровней в течение гидрологического года обычно составляет 2,5...4 м. Поверхностный сток за многолетний период и по сезонам года крайне неравномерен.

Питание реки смешанное: подземное и дождевое с преобладанием последнего. Ход изменений поверхностного стока в целом повторяет ход уровней и характеризуется паводковыми пиками с резкими подъемами и спадами. Максимальные среднемесячные расходы реки в декабре – феврале и достигают 40...60 м³/с. Минимальные среднемесячные расходы июня – октября составляют 0,05...2,0 м³/с.

Нефтяное загрязнение образует скопление нефтепродуктов на поверхности подземных вод безнапорного водоносного горизонта, приуроченного к аллювиальным отложениям четвертичного возраста. В основании разреза залегают локально водоносные горные породы, которые рассматриваются как водоупорные, рис. 1.

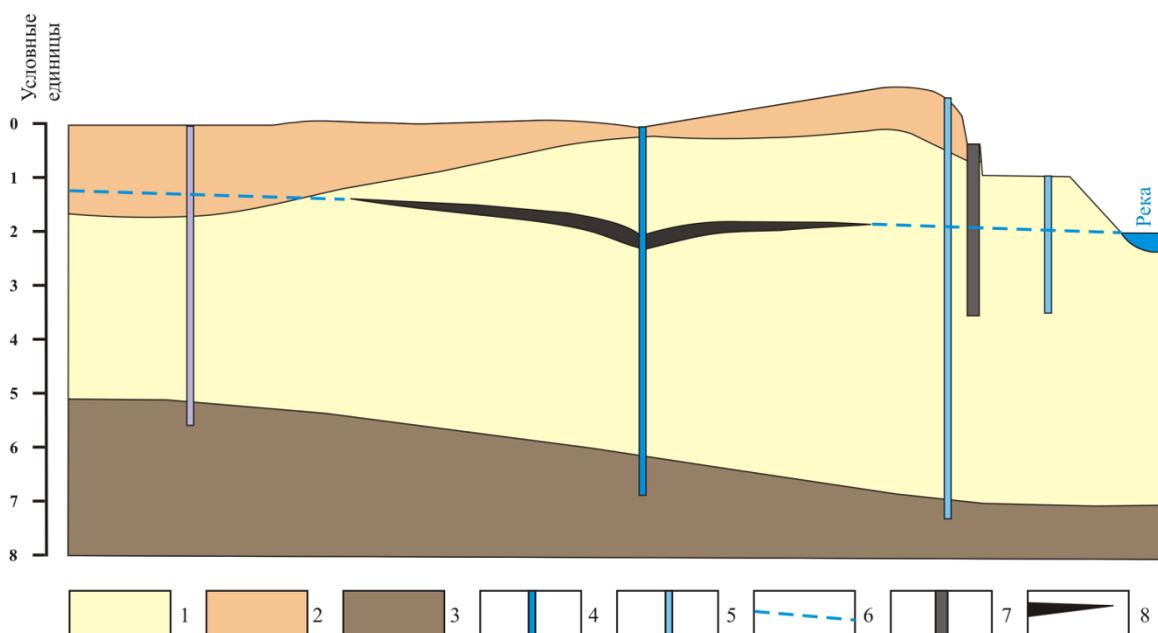


Рис. 1. Схематический гидрогеологический разрез: 1) гравийно-галечниковые отложения; 2) техногенные грунты преимущественно суглинистого состава; 3) водоупорные глины; 4) эксплуатационная скважина; 5) наблюдательная скважина; 6) уровень грунтовых вод; 7) непроницаемая противодиффузионная завеса; 8) скопление нефтепродуктов.

Водоносный горизонт аллювиальных отложений речной долины имеет характер грунтового потока, направленного к устью долины.

Защитная дренажная система

Для борьбы с загрязнением подземных вод нефтепродуктами создана защитная дренажная система (ЗДС). В основу эксплуатации этого инженерного сооружения положена

идея создания искусственного режима подземных вод, способствующего локализации загрязнения с последующей его ликвидацией при откачке нефтепродуктов скважинами [2].

Путем искусственного водопонижения уровней подземных вод создается воронка депрессии по направлению продольной оси контура загрязнения. Возникает искусственный поток загрязнителя, направленный к эксплуатационным скважинам. Скопление нефтепродуктов откачивается нефтяными насосами, работающими в зоне водонефтяного контакта.

Каждая эксплуатационная скважина работает по двухнасосной схеме. Водяной насос в постоянном режиме ведет откачку грунтовых вод и создает стабильное во времени понижение их уровня. Нефтяной насос включается в работу периодически по мере накопления нефтепродуктов.

Пластовые воды возвращаются в водоносный горизонт через систему нагнетательных скважин, расположенных в северо-восточной части участка на границе зоны загрязнения. Возврат дренажных вод в безнапорный пласт создает искусственный барьер на пути распространения загрязнения с территории предприятия в сторону жилой застройки.

Наблюдения за режимом уровней подземных вод и нефтепродуктов проводятся регулярно по сети наблюдательных скважин. Данные режимных наблюдений необходимы для контроля остаточной мощности нефтепродуктов, изменения площади нефтяного загрязнения и его мощности.

Защитная дренажная система состоит из шести эксплуатационных и пяти нагнетательных скважин. Четыре эксплуатационных скважины находятся в режиме постоянного водопонижения. Две эксплуатационные скважины выполняют роль резервных. Они предназначены для кратковременной работы при возникновении угрозы прорыва нефтепродуктов в обход основных скважин.

В состав комплекса инженерной защиты входит противофильтрационная шпунтовая завеса. Непроницаемая преграда заглублена на 3,5 м от поверхности и препятствует возможному поступлению нефтепродуктов в русло реки. Сеть режимных наблюдений включает более 70-и гидрогеологических скважин. В программу мониторинга входит определение глубины залегания уровня нефтепродукта и положения водонефтяного контакта. Для скважин, расположенных за контуром загрязнения фиксируется уровень подземных вод.

Комплекс регулярных режимных наблюдений является основным инструментом оценки эффективности работы защитной дренажной системы один раз в декаду. В результате накапливается огромный объем первичной информации, которая требует оперативной обработки и анализа. Обобщенные данные используются не только для контроля размеров нефтяного загрязнения, но и несут информацию, необходимую для управления режимом работы насосов, откачивающих нефтепродукты.

Интенсивный поток первичных данных и необходимость их оперативного обобщения требуют внедрения автоматизированных приемов хранения и обработки информации в электронном виде.

Обработка данных режимных наблюдений

Обработка данных мониторинга выполняется в составе мероприятий, направленных на повышение эффективности работы ЗДС по ликвидации нефтяного загрязнения. Решаются две основные задачи:

- визуализация динамики сокращения масштабов нефтяного загрязнения средствами геоинформационных систем;
- подготовка исходных данных для краткосрочных прогнозов условий работы ЗДС на основе численного моделирования.

Первая задача решается при оперативном построении карт остаточной мощности нефтяного загрязнения на выбранную дату в среде программного комплекса Surfer. Предварительная обработка данных для рисовки карт в изолиниях сопровождается созданием вспомогательного файла результатов интерполяции значений мощности по сети равномерных

точек (grid-файл). Использование этого файла в режиме вычислений даёт возможность непосредственного расчета объема нефтяного загрязнения на поверхности грунтовых вод.

Вторая задача решается организацией запросов к электронным базам данных и формированием текстовых файлов в качестве входных параметров для постоянно действующей численной модели.

Для хранения данных режимных наблюдений организовано три самостоятельные электронные базы данных, включающие информацию по режимным, эксплуатационным и наблюдательным скважинам. Ограниченный круг решаемых задач позволил организовать информационные массивы в среде электронных таблиц MS Excel и использовать для организации запросов инструмент автофильтра. Базы данных объединяют замеры за весь период наблюдений в единую информационную структуру. Ранее данные мониторинга на предприятии накапливались в электронном виде, но в соответствии с регламентом проведения работ на скважинах, хранились в отдельных файлах на каждую дату замера. Это максимально затрудняло получение информации для ретроспективного анализа динамики нефтяного загрязнения.

Для анализа уровня режима подземных вод по отдельным скважинам предлагается воспользоваться стандартной возможностью построения диаграмм в среде электронных таблиц. Для этого целесообразно использовать график в виде «точечной» диаграммы в сочетании с фильтрацией данных по ключевому полю «№ скв», рис. 2.

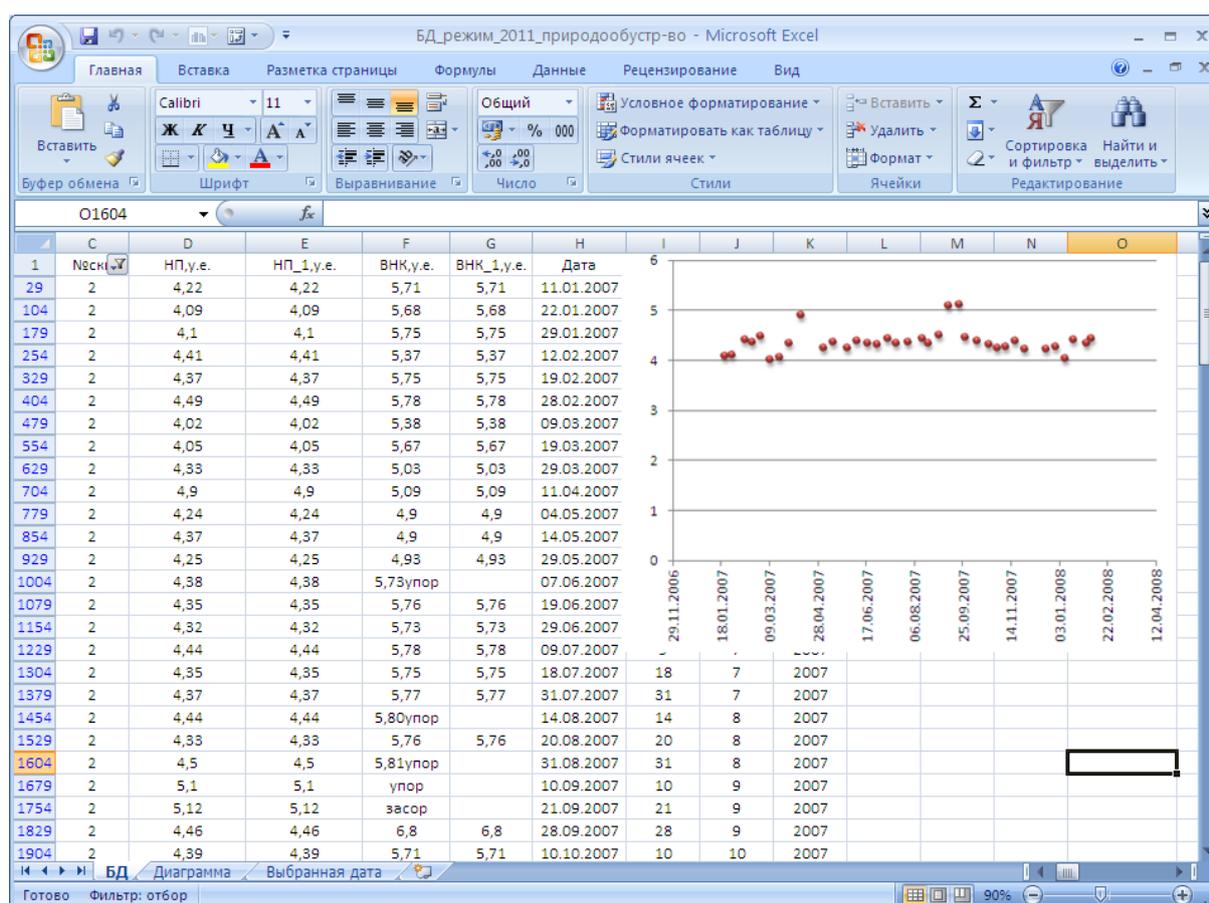


Рис. 2. График изменения глубины залегания уровня нефтепродуктов в скважине № 2

Предложенная технология работы с базами данных по режимным наблюдениям демонстрирует гибкий инструмент визуализации, который может быть использован не только для анализа данных гидрогеологического содержания, но и для оперативного составления отчетной документации.

На рис. 3 показана таблица данных режимных наблюдений, подготовленная для вывода разновременных карт глубин залегания нефтепродуктов и водонефтяного контакта. Для идентификации карт имена столбцов включают в явном виде дату и аббревиатуру поверхности, подлежащей картированию. В названиях использованы литеры латинского алфавита для предупреждения потери информации при ее обработке.

Показанный фрагмент базы данных имеет 47 строк – по числу режимных скважин, для которых определены плановые координаты и 66 пар столбцов – по числу дат замеров уровней (нефтепродуктов и водонефтяного контакта). В строке формул приведен запрос в виде функции вертикальный просмотр (ВПР) рабочего листа MS Excel, обеспечивающей поиск значения уровня по номеру скважины и дате замера в общей базе данных.

Для использования в картографических построениях весь массив значений рабочего листа сохраняется в отдельном файле в формате, доступном для чтения в ПК Surfer. Полуавтоматическая обработка данных требует, чтобы в верхней строке располагались имена столбцов, а в первом и втором из них были размещены координаты X и Y.

Ключ_1	№	№скв	НП,у.е.	НП_1,у.е.	ВНК,у.е.	ВНК_1,у.е.	Дата	Число	Месяц	Год	U	V	W	X
258D_39093	1	258Д	4,2	4,2	4,39	4,39	11.01.2007	11	1	2007	№скв	№пн	№скв	X
259D_39093	2	259Д	6,32	6,32	6,51	6,51	11.01.2007	11	1	2007	1	259Д	6411,295567	3:
260D_39093	3	260Д	4,6	4,6	5,51	5,51	11.01.2007	11	1	2007	2	259Д	6534,578861	3:
261Д_39093	4	261Д	5,14	5,14	5,62	5,62	11.01.2007	11	1	2007	3	260Д	6402,447528	3:
261в_39093	5	261в	3,91	3,91	вода	3,91	11.01.2007	11	1	2007	4	261Д	6583,538276	3:
261б_39093	6	261б	4,51	4,51	5,03	5,03	11.01.2007	11	1	2007	5	261в	6585,897733	3:
261е_39093	7	261е	4,17	4,17	4,2	4,2	11.01.2007	11	1	2007	6	261б	6589,436994	3:
261г_39093	8	261г	5	5	вода	5	11.01.2007	11	1	2007	7	261е	6598,874974	3:
											11	261г	#Н/Д	

5092	258Д_39832	1	258Д	4,04	4,04	6,06	6,06	19.01.2009	19	1	2009				
5093	259Д_39832	2	259Д	6,69	6,69	7,19	7,19	19.01.2009	19	1	2009				
5094	260Д_39832	3	260Д	5,32	5,32	5,97	5,97	19.01.2009	19	1	2009				
5095	261Д_39832	4	261Д	5,06	5,06	5,82	5,82	19.01.2009	19	1	2009				
5096	261в_39832	5	261в	3,98	3,98	вода	3,98	19.01.2009	19	1	2009				
5097	261б_39832	6	261б	4,38	4,38	4,81	4,81	19.01.2009	19	1	2009				
5098	261е_39832	7	261е	4,18	4,18	вода	4,18	19.01.2009	19	1	2009				
5099	4он_39832	9	4он	3,26	3,26	вода	3,26	19.01.2009	19	1	2009				
5100	5он_39832	10	5он	2,6	2,6	вода	2,6	19.01.2009	19	1	2009				
5101	6он_39832	11	6он	2,35	2,35	плёнка	2,35	19.01.2009	19	1	2009				
5102	7он_39832	12	7он	2,64	2,64	4,26	4,26	19.01.2009	19	1	2009				
5103	8он_39832	13	8он	1,68	1,68	вода	1,68	19.01.2009	19	1	2009				
5104	9он_39832	14	9он	2,99	2,99	вода	2,99	19.01.2009	19	1	2009				
5105	10он_39832	15	10он	1,56	1,56	вода	1,56	19.01.2009	19	1	2009				
5106	11он_39832	16	11он	1,64	1,64	1,67	1,67	19.01.2009	19	1	2009				
5107	13он_39832	17	13он	4,45	4,45	плёнка	4,45	19.01.2009	19	1	2009				
5108	14он_39832	18	14он	4,38	4,38	вода	4,38	19.01.2009	19	1	2009				
5109	15он_39832	19	15он	5,48	5,48	6,56	6,56	19.01.2009	19	1	2009				
5110	16он_39832	20	16он	6,3	6,3	6,43	6,43	19.01.2009	19	1	2009				
5111	17он_39832	21	17он	2,27	2,27	вода	2,27	19.01.2009	19	1	2009				
5112	20он_39832	22	20он	2,77	2,77	3,25	3,25	19.01.2009	19	1	2009				
5113	21он_39832	23	21он	1,35	1,35	вода	1,35	19.01.2009	19	1	2009				
5114	23он_39832	24	23он	3,6	3,6	4,15	4,15	19.01.2009	19	1	2009				

Рис. 3. Фрагмент базы данных режимных наблюдений в форме доступной для построения карт изолиний средствами ПК Surfer

Автоматизация достигается использованием программного модуля Scripter, входящей в состав ПК Surfer. Это инструментальное средство предназначено для автоматизации практически любых действий, которые может выполнять ПК Surfer. Для этого необходимо описать алгоритм построения карт изолиний на встроенном языке программирования Visual Basic.

Результатом автоматизированной обработки являются оперативные карты мощности скоплений нефтепродуктов, рис. 4.

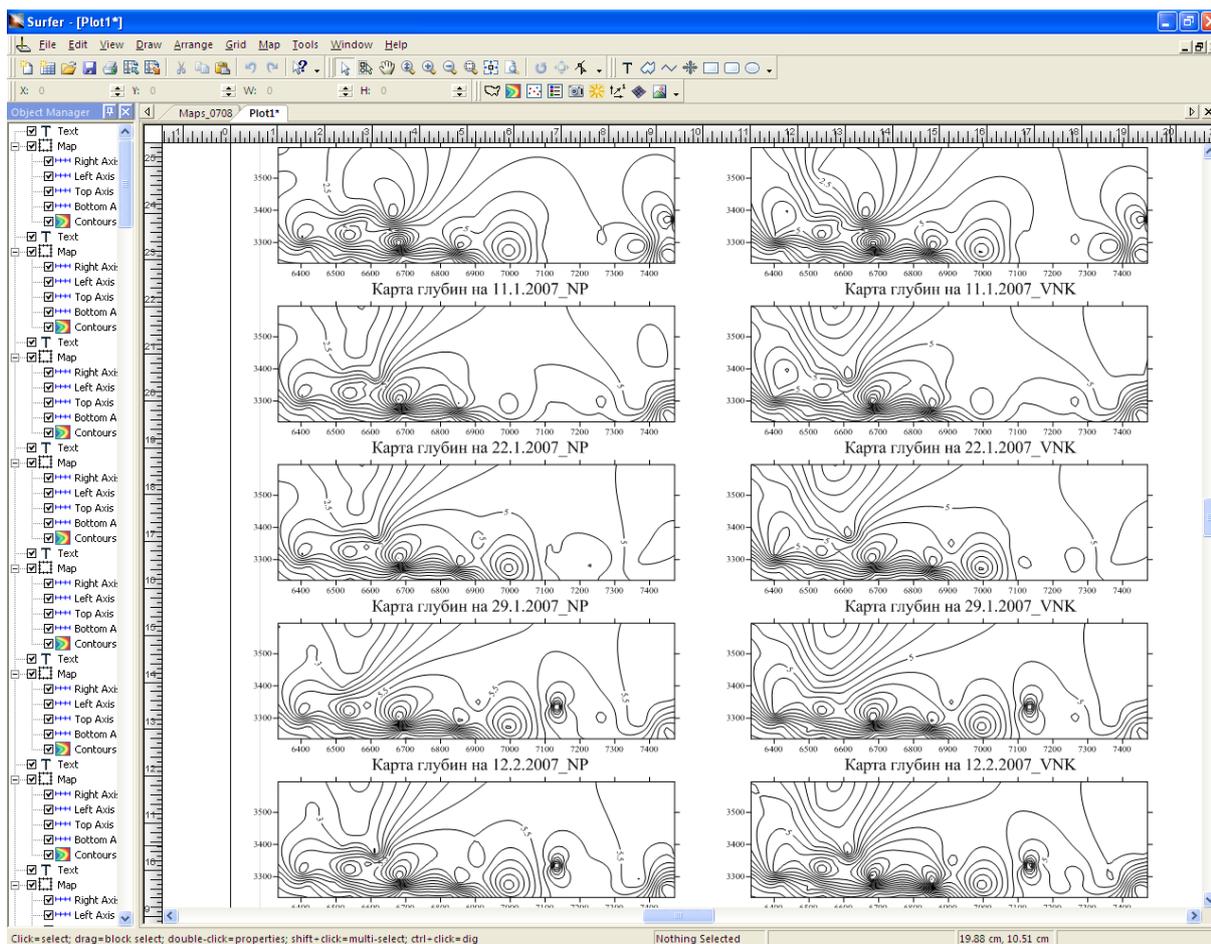


Рис. 4. Рабочее окно программного модуля **Scripter** в режиме запуска на выполнение программного кода `Script_Map4.bas`

Серия разновременных карт дает возможность ретроспективного анализа динамики сокращения нефтяного загрязнения, оценки геоэкологической обстановки и позволяет более обоснованно подходить к разработке экстренных и долгосрочных природоохранных мероприятий.

В результате обработки информации одного календарного года (периода августа 2007 – августа 2008 гг.) с применением ГИС – технологий (программного модуля **Scripter**) прослеживается динамика сокращения параметров загрязнителя. Площадь нефтепродуктов изменилась на 6 у.е., объем нефтепродуктов уменьшился на 5 у.е.

Заключительным этапом обработки исходных данных является организация запросов к электронным базам данных и формированием текстовых файлов в качестве входных параметров для постоянно действующей численной модели.

Численное моделирование гидрогеологических условий

Для оперативного прогноза изменения гидрогеологических условий и управления искусственным гидродинамическим режимом разработана постоянно действующая численная модель области фильтрации в среде программного комплекса **GMS** (Groundwater Modeling System), являющегося признанным стандартом в области моделирования фильтрации подземных вод.

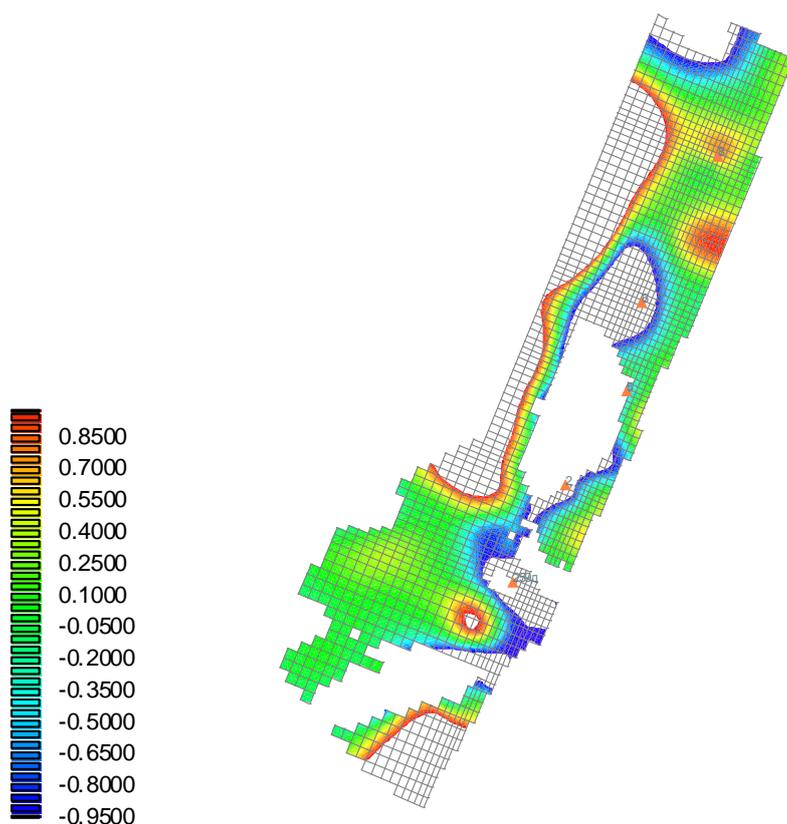
На пространстве конечно-разностной сетки размерностью $103 \times 38 \times 6$ расчетных ячеек воспроизведено строение водоносного комплекса аллювиальных отложений четвертичного возраста. Граничные условия области фильтрации разнородны. На юго-западе граница первого рода совпадает с контуром морского побережья. Северо-западная граница принята условно

непроницаемой и отнесена за пределы области влияния гидрогеологических скважин. Северо-восточная граница имеет постоянный напор, соответствующий среднегодовым уровням грунтовых вод и совпадает с гидроизогипсой естественного потока.

Прогнозные гидродинамические задачи в соответствии с принципом суперпозиции решаются поэтапно [3]. На первом этапе моделируется уровенная поверхность двухфазного флюида в функции приведенных напоров. На шестислойной модели области фильтрации отлаживается распределение фильтрационных параметров по отношению к фильтрации подземных вод.

На втором этапе моделирование выполняется для прогноза поведения скопления нефтепродуктов под влиянием откачек. Рассматривается фильтрация нефтепродуктов к эксплуатационным скважинам по стационарной поверхности водонефтяного контакта как по водоупору. Фильтрационные параметры пересчитываются с учетом фактической плотности и вязкости нефтепродуктов.

В качестве начальных условий используются данные режимных наблюдений по запросу из электронных баз данных. Решается прогнозная задача об изменении мощности нефтепродуктов при их откачке (рис. 5). В процессе моделирования подбирается время работы насосного оборудования с таким расчетом, чтобы минимизировать мощность нефтепродуктов, но не допустить условного осушения водоносного горизонта. Осушение на модели означает подтягивание к скважине пластовых вод и прекращение откачки нефтепродуктов. Результатом численного моделирования являются рекомендации по режиму эксплуатации нефтяных насосов и заключение о необходимости ввода в работу дополнительных скважин.



Напоры, м

Рис. 5. Прогнозное распределение напоров в слое нефтепродуктов через 0,5 суток после запуска эксплуатационных скважин.

Выбор программного комплекса, не предназначенного для моделирования двухфазных жидкостей, в качестве основного инструмента прогноза не случаен. Необходимость моделирования фильтрации нефтепродуктов рассматривается как временная задача. После ликвидации нефтяного загрязнения численная модель будет использоваться для сопровождения работ по реабилитации загрязненных нефтепродуктами водовмещающих пород.

Информационное обеспечение работы ЗДС

Работы по автоматизации обработки данных мониторинга выполнены в рамках оптимизации информационного блока управления работой ЗДС (рис. 6) и направлены на повышение ее эффективности.

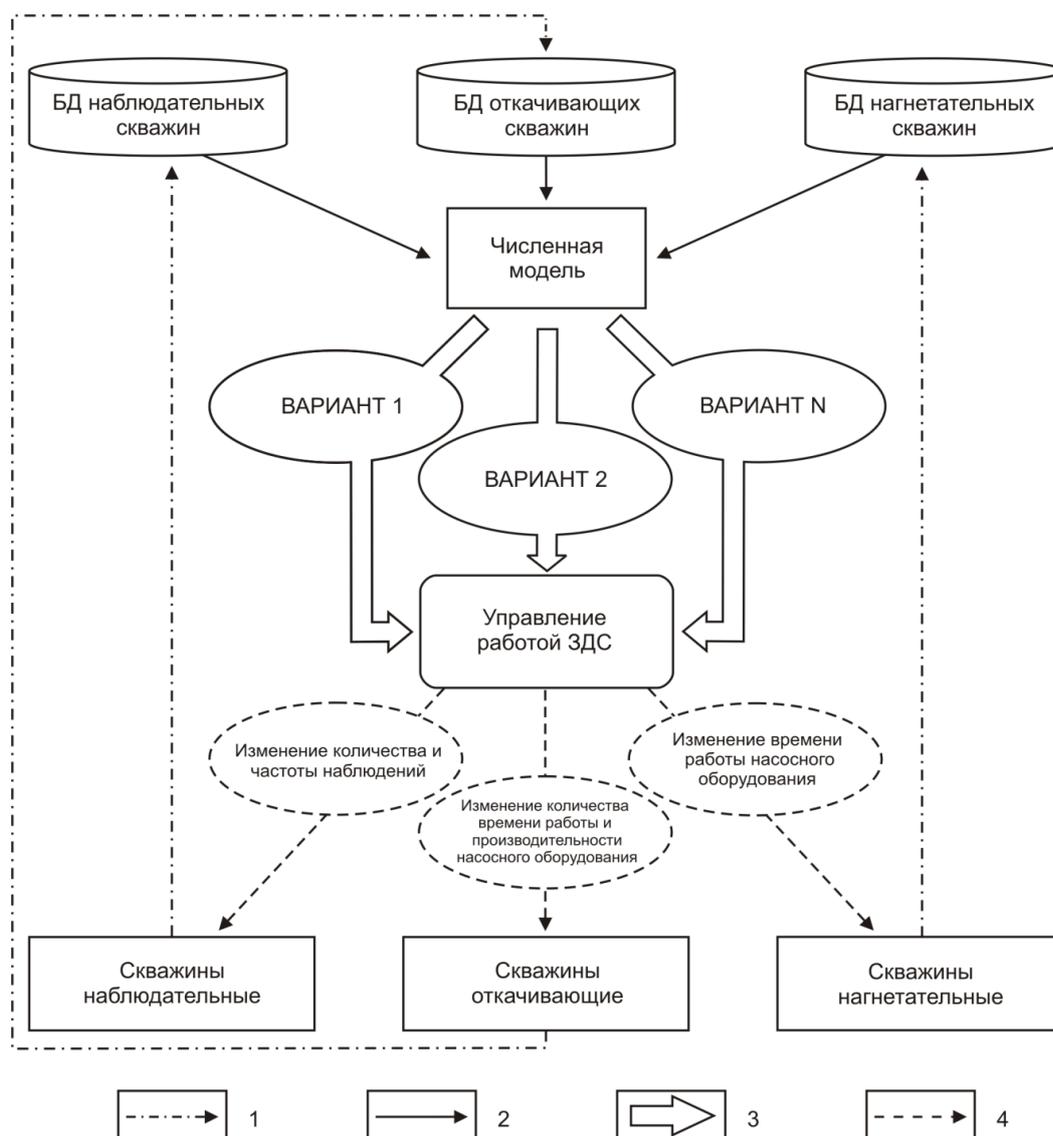


Рис. 6. Информационное обеспечение работы защитной дренажной системы: 1) первичная гидрогеологическая информация; 2) обработанная гидрогеологическая информация; 3) прогноз изменения гидрогеологических условий; 4) управляющие решения

Особенностью эксплуатации дренажной системы является необходимость оптимального регулирования продолжительности работы нефтяных насосов. При

кратковременном их включении в работу снижается эффективность откачки нефтепродуктов. При чрезмерно продолжительной работе нефтяные насосы не только начинают откачивать пластовую воду, но могут способствовать оттеснению нефтепродуктов от ствола эксплуатационной скважины, препятствуя ликвидации нефтяного загрязнения.

Информационное обеспечение работы ЗДС функционирует в технологической схеме ликвидации нефтяного загрязнения на основе принципов обратной связи. Источником первичной гидрогеологической информации являются гидрогеологические наблюдательные и эксплуатационные скважины. Данные замеров уровней накапливаются в электронных базах данных. При выполнении прогнозного моделирования путем запросов к базе данных формируются начальные условия для работы численной модели области фильтрации. На основе результатов моделирования гидрогеологических условий вырабатываются варианты управляющих решений для режима эксплуатации ЗДС на ближайшую перспективу. В долгосрочной перспективе оценивается целесообразность изменения параметров наблюдательной сети. Это может быть изменение количества наблюдательных скважин или корректировка частоты и объема режимных наблюдений. По эксплуатационным и нагнетательным скважинам оценивается необходимость изменения их количества и времени работы насосного оборудования.

Оперативные прогнозы поведения скопления нефтепродуктов под влиянием откачки позволяют подобрать на численной модели наиболее оптимальный режим работы насосного оборудования с учетом особенностей гидрогеологических условий и текущего пространственного положения подпочвенных скоплений нефтепродуктов.

Выводы

1. В работе предложены методы оценки динамики площади распространения и мощности скоплений нефтепродуктов, прогноза регламента работы эксплуатационных скважин на ближайшую перспективу.
2. В созданной электронной базе данных по режимным, эксплуатационным и нагнетательным скважинам объединены накопленные массивы разрозненных таблиц на отдельные даты регламентных работ в единую информационную структуру.
3. Оперативный прогноз остаточной мощности нефтяного загрязнения выполняется с использованием численной модели области фильтрации в дежурном режиме.
4. Процедуры автоматизации обработки данных мониторинга нефтяного загрязнения представляют собой информационный блок управления работой защитной дренажной системы.
5. Оптимизация информационного блока управления работой защитной дренажной системы способствует повышению оперативности обработки первичной гидрогеологической информации, ускоряет обмен данными со смежными подразделениями экологической службы предприятия.
6. Автоматизация обработки данных локального мониторинга нефтяного загрязнения является основой для более обоснованного планирования природоохранных мероприятий. Повышается эффективность работы защитной дренажной системы, направленной на ликвидацию нефтяного загрязнения подземных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
2. Богданович А.М. Гидрогеологическое обоснование и подготовка исходных данных для проектирования ЗДС. – М.: ГИДЭК, 1998. – 219 с.
3. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 360 с.

Поступила 22.11.2011 г.