

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 556:550.34.01

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И. Р. Мамедов

Институт геологии НАН Азербайджана

Объектом исследования является подземная гидросфера как составная часть геоэкологической системы Абшеронского полуострова. Анализируется влияние водного фактора как на экологическое состояние, так и на окружающую среду в целом. Обосновывается оптимальное решение проблем регулирования и устойчивого развития геоэкологической системы полуострова посредством разработки и использования компьютерных моделей геофильтрации. Приводятся конкретные примеры решения целевых задач.

Subject under study is the subsurface hydrosphere as a part of the geoecological system of Absheron peninsula. Influence of the water factor both on the ecological state and the environment as a whole is analyzed. The most optimal solution of the issues of regulation and sustainable development of the peninsula geoecological system through development and utilization of the geofiltration computer models is substantiated. Specific examples of solution of the target tasks are given as well.

Ключевые слова: геоэкология; водный фактор; геофильтрация; компьютерная модель.

Keywords: geoecology; water factor; geofiltration; model.

Геологическая среда характеризуется как неотъемлемая часть окружающей среды и биосферы. Одним из важнейших ее компонентов является подземная гидросфера. Подземные воды составляют наиболее динамичную и уязвимую часть геологической среды и являются основным индикатором ее состояния. Влияние подземных вод на геологическую среду, как в естественных, так и нарушенных антропогенной деятельностью условиях, очень велико. Таким образом, возможность регулирования количественных и качественных параметров и динамики изменения уровней подземных вод позволяет управлять состоянием геологической среды и окружающей средой в целом.

Особое значение эти исследования имеют в настоящее время, когда антропогенные процессы, связанные со стремительной урбанизацией, расширением промышленного и сельскохозяйственного производства и т.д., приближаются по мощности к природным, а иногда и превышают их. Техногенные факторы вызывают резкое изменение гидрогеологических условий, что в свою очередь отражается в целом на состоянии геоэкологических условий региона.

Ярким примером выше перечисленного является Абшеронский полуостров, его площадь 1984 км², это в высокой степени урбанизованная и технологичная территория. Здесь расположены три города (Баку, Сумгаит и Хырдалан), а также более 40 населенных пунктов с общей численностью населения около 3.5 млн человек. На полуострове функционирует крупный промышленный комплекс, в том числе разрабатываются нефтяные месторождения, а также функционирует агропромышленный комплекс (рис. 1).

Для водообеспеченности населения, промышленности и сельхозпроизводства в связи с ограниченными собственными водными ресурсами на полуостров перебрасывается из других регионов республики порядка 30 м³/с водных ресурсов.

Подземные воды являются самым активным компонентом не только гидросферы, но и всей геосферы Абшеронского полуострова, они являются приемниками и проводниками всех воздействий на экологию среды и стимулируют разного рода экзогенные процессы.

Специфические гидрогеологические условия, нерациональная эксплуатация водных ресурсов, а также интенсивная антропогенная нагрузка на окружающую среду привели к резкому ухудшению геоэкологической обстановки на полуострове. Подъем уровня грунтовых вод привел к подтоплению, затоплению и заболачиванию значительных территорий, выводу из строя инженерных сооружений (зданий, мостов, дорог и др.), ухудшению мелиоративного состояния земель. Смачивание почво-грунтов приводит к изменению их физико-механических свойств. Как следствие, активизируются экзогенные процессы, выражающиеся в просадках и эрозии земной поверхности, а также оползнях. Важно также отметить и фактор повышения степени сейсмичности полуострова в связи с подъемом уровня грунтовых вод, особенно на урбанизированных территориях. Подземные воды являются также активными аккумуляторами и распространителями разного рода загрязнителей [1, 3].

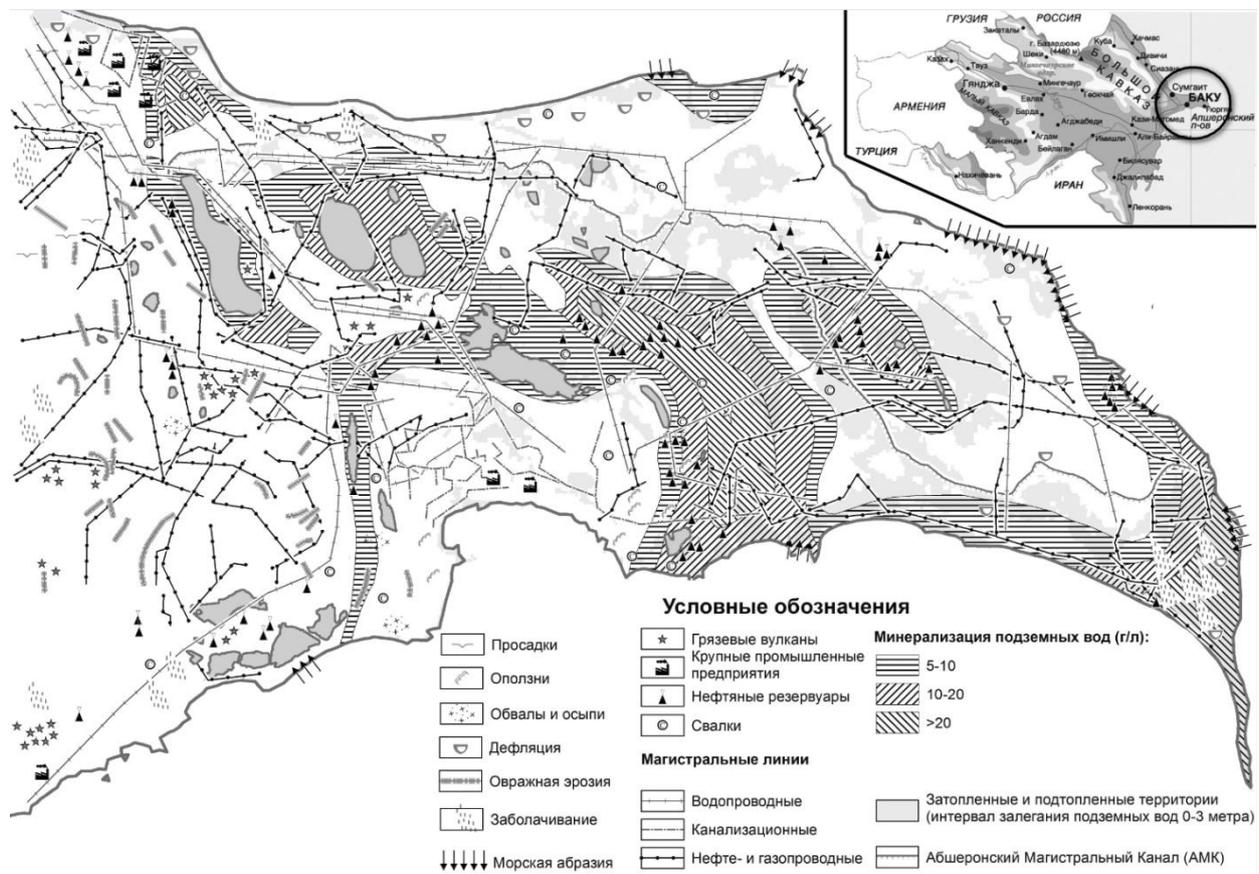


Рис. 1. Обзорная карта

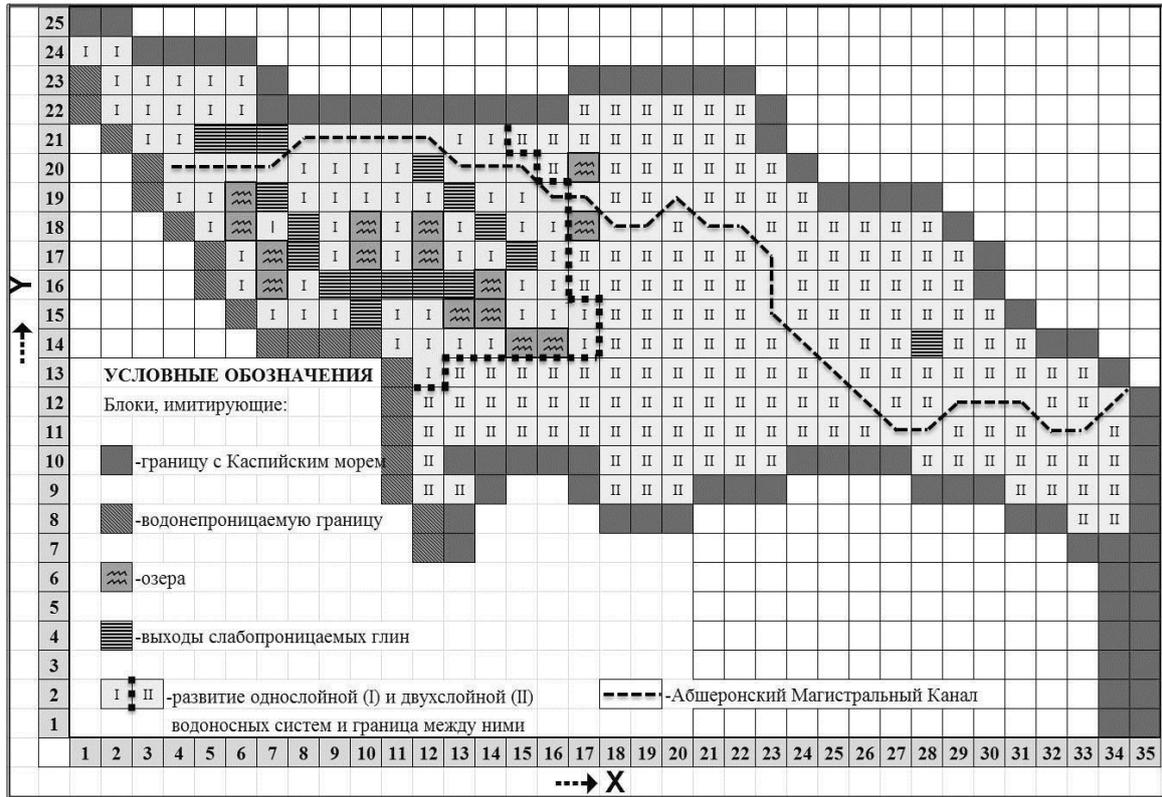
Таким образом, оценка гидродинамических условий гидросферы, снижение и стабилизация уровня грунтовых вод, выявление источников и путей миграции загрязнителей, прогноз количественных и качественных параметров подземных вод под влиянием антропогенных факторов и их влияния на развитие экзогенных процессов являются первоочередными задачами, решение которых позволит обеспечить геоэкологическую безопасность Абшеронского полуострова.

Самым оптимальным способом решения вышеперечисленных задач является создание на базе компьютерного моделирования и геоинформационного картографирования геофильтрационной модели подземной гидросферы Абшеронского полуострова, на основе которых решаются целевые задачи и разрабатываются конкретные мероприятия. Компьютерная модель геофильтрации и геоинформационное картографирование позволяют управлять всей гидросферой, являющейся важным звеном геоэкологии полуострова.

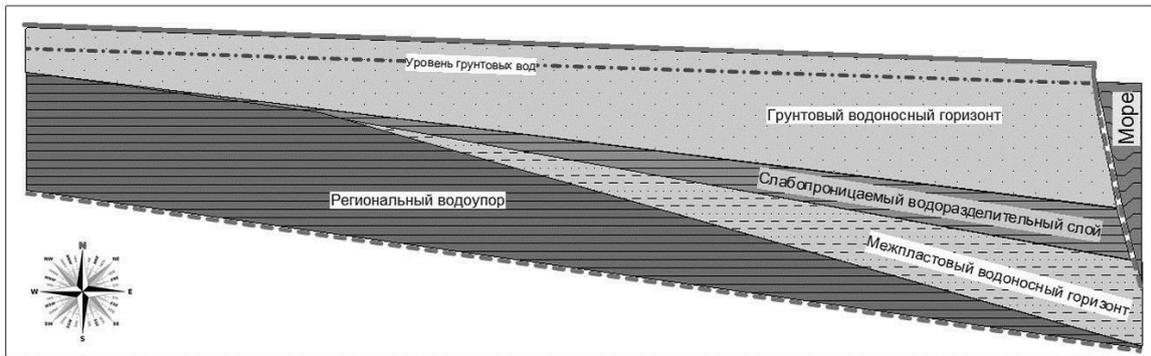
В настоящее время наиболее применяемыми для решения практических задач геофильтрации подземных вод являются компьютерная программа MODFLOW и ряд связанных с ней подпрограмм: MODPATH, MT3DMS, PEST и другие [5, 6]. Они фактически являются мировым стандартом для решения проблем фильтрации и массопереноса в системе «вода – порода». Большая часть задач, связанных с насыщенной однофазной фильтрацией в подземной гидросфере, решается на основе использования этих программ. Основы данной компьютерной программы широко освещены в литературе, поэтому ниже приводятся концептуальная модель формирования и схематизация граничных условий исследуемой водоносной толщи полуострова, обоснование корректности модели, а также примеры решения конкретных задач на модели.

Водонепроницаемые глины, слагающие разрез исследованной территории с поверхности земли на западной границе полуострова, в восточном направлении начинают погружаться на все большую глубину и сверху покрываются чехлом водопроницаемых отложений различного литологического состава (переслаивание песков, супесей, суглинков, известняков и глин). За региональный водоупор моделируемой водоносной толщи принята кровля практически водонепроницаемых глин продуктивной толщи, глубина залегания которой изменяется с запада на восток от 5–10 м до 80–90 м, местами достигая до 120–140 м [1, 2].

Анализ и обобщение многочисленных разрезов скважин и геолого-гидрогеологических профилей позволили выявить двухступенчатую структуру залегания подземных вод в направлении понижения водоупорного ложа. От границ с водонепроницаемыми глинами на западе до контура, проходящего по середине полуострова, получила развитие система водоносных слоев, гидравлически связанных друг с другом и формирующих единую водонасыщенную толщу грунтовых вод. Далее на восток изученная водоносная толща условно делится на два горизонта – грунтовых и напорных вод. Напорные водоносные горизонты здесь не получили развития в региональном плане и оконтуриваются на обособленных площадях отдельных тектонических структур (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Блок-схема структуры залегания подземных вод (а); схематический профиль структуры залегания водоносной толщи Абшеронского полуострова (б)

Обобщение всех условий и факторов формирования инфильтрационных подземных вод в совокупности со всей гидросферой Абшеронского полуострова позволили нам схематизировать внешние и внутренние граничные условия исследованной водонасыщенной толщи как в плане, так и в разрезе [3, 4].

В основу модели заложена базовая матричная сетка с параметрами 25×35 ячеек, на которой отражались все внешние и внутренние границы исследуемой водонасыщенной толщи. Западная граница контакта водонасыщенной толщи с водонепроницаемыми глинами продуктивной толщи принимается как водонепроницаемая граница II рода, т.е. здесь $Q = 0$. Границы по всему периметру полуострова с Каспийским морем принимаются как граница с постоянным расходом, т.е. граница I рода, где $H = \text{const}$. В западной части исследованной территории вся водонасыщенная толща схематизируется как единый грунтовый водоносный горизонт, сложенный из различных водоносных слоев, гидравлически взаимосвязанных друг с другом. Восточная часть Абшерона схематизируется как двухслойная водонасыщенная толща грунтовых и слабо напорных вод. Подстилающая их кровля водонепроницаемых глин продуктивной толщи является региональным водоупором. В целом изученная толща

обособлена от подземного притока со всех границ и питается только за счет инфильтрационных вод с земной поверхности.

Участки водной поверхности озер изменяются в течение гидрогеологического года, поэтому их площади задавались по среднегодовым значениям в виде абсолютных отметок водной поверхности. Абшеронский Магистральный Канал задавался на модели поблочно, по отдельным створам. При задании на модели верхней границы исследованной водонасыщенной толщи подтопленные участки, в пределах которых грунтовые воды достигли земной поверхности, отражают часть зеркала грунтовых вод и их абсолютные отметки схематизировались совместно с уровнем грунтовых вод на базе карты гидроизогипис.

После задания плановых физических (геометрических) границ водоносной толщи на модели задавалась структура гидрогеологического строения исследуемой гидросферы. В пределах однослойной толщи на модели задавались поблочно в абсолютных отметках рельеф, уровни подземных вод и подошва водонасыщенной толщи. Для двухслойной водоносной толщи на модели задавались: рельеф, зеркало подземных вод, кровля и подошва разделительного слабопроницаемого слоя и подошва водонасыщенной толщи. Коэффициенты фильтрации водоносной толщи задавались также поблочно для всей толщи в целом.

Таким образом, все плано-пространственные границы исследуемой водонасыщенной толщи были отражены на матрице модели и получена трехмерная модель ее структуры. Для формирования первичной математической модели на данном этапе ее насыщали семантическими и графическими данными. Семантические данные слагались из уровней грунтовых вод и исходных (начальных) коэффициентов фильтрации водосодержащих пород, химического состава подземных и поверхностных вод, данных по осадкам, водоподачи на орошаемые территории, утечки из подземных и поверхностных водных коммуникаций, суммарному испарению за многолетие и др.

Графическая база данных слагалась из: карты гидроизогипис; карты глубин залегания подземных вод; геолого-гидрогеологических профилей; карты степени минерализации подземных вод; карты подтопленных участков Абшеронского полуострова; карты существующих и прогнозных оползневых участков полуострова; продольных и поперечных гидрогеологических профилей; разрезов отдельных скважин.

После задания на матрице модели всех семантических и графических данных и параметров были получены предварительные уровни подземных вод, большей частью не совпадающие с фактическими их значениями. Фактически замеренные уровни подземных вод по мониторинговой сети водопунктов являются контрольными индикаторами корректности созданной модели. Для получения фактических уровней была осуществлена корректировка модели. Анализ введенных в матрицу модели данных указал на единственно сомнительный параметр – коэффициент фильтрации водоносных горизонтов. Используемые в расчетах коэффициенты фильтрации водовмещающих пород исследуемой территории определялись предыдущими исследователями ориентировочно, по справочным материалам, исходя из литологического состава водоносных горизонтов. Учитывая вышеизложенное, а также тот факт, что все остальные граничные условия и параметры вполне обоснованы, калибровка модели осуществлялась решением обратной задачи по оценке действительных значений коэффициентов фильтрации водоносных горизонтов. В результате на модели были получены откорректированные значения коэффициентов фильтрации исследуемой водоносной толщи.

Таким образом, была сформирована, откалибрована и идентифицирована математическая геофильтрационная подземной гидросферы Абшеронского полуострова. Разработанная геофильтрационная модель Абшеронского полуострова позволила оперативно решать задачи системы «вода – порода», при этом она является фактически постоянно действующей в связи с возможностью ее корректировки.

Первая прямая задача на рабочей модели была связана с выявлением оптимальных параметров систем по понижению и стабилизации уровней грунтовых вод на подтопленных и затопленных территориях Абшеронского полуострова на примере территории населенного пункта Забрат, характерного для всего Абшеронского полуострова.

Площадь моделируемой территории составила 18 км², в пределах которой уровни грунтовых вод повсеместно достигают земной поверхности. Используя возможности модели, для данной территории была сгущена матричная сеть, параметры которой

составили 40×45 блоков, с шириной стороны в 100 м. На основании карты гидроизогипс и глубин залегания грунтовых вод и значений коэффициентов водопроницаемости водоносной толщи была рассчитана проектная сеть скважин вертикального дренажа моделируемой территории в количестве 32 штук с целью понижения и стабилизации уровня грунтовых вод ниже 3 м от поверхности земли.

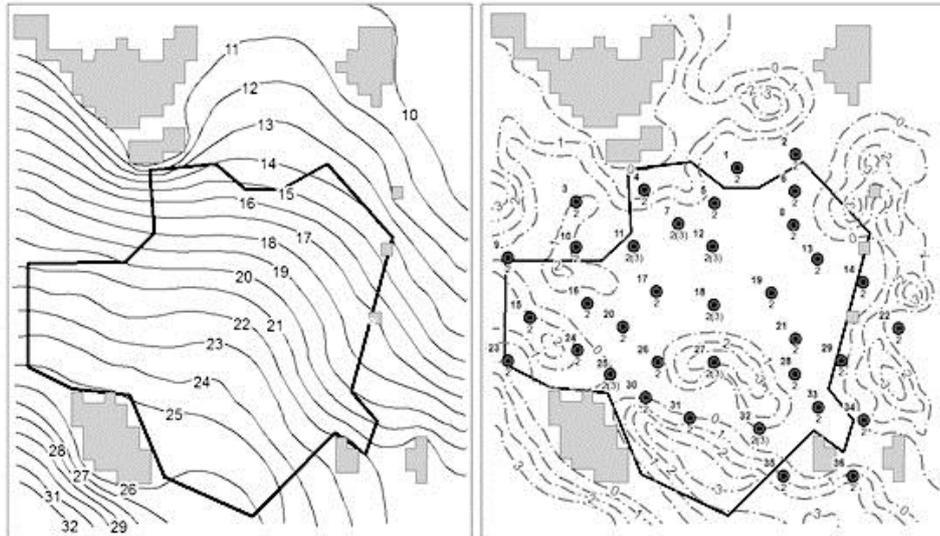


Рис. 3.1 а I- [шaded] II- [contour] III- [line] IV- [contour] V- [well symbol]

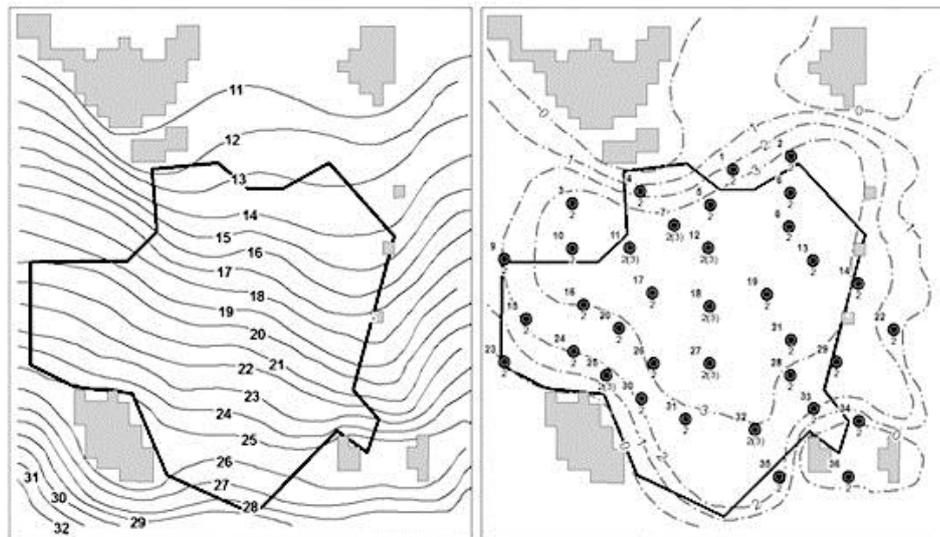


Рис. 3.2 а I- [шaded] II- [contour] III- [line] IV- [contour] V- [well symbol]

Рис. 3. Схема гидроизогипс (а) и глубин залегания грунтовых вод (б) моделируемой территории:

1 - до начала работы системы сети скважин; 2 - после работы системы сети скважин; I - затопленные территории; II - гидроизогипсы; III - контуры территории понижения и стабилизации УГВ; IV - изолинии глубин залегания грунтовых вод; V - проектируемые скважины вертикального дренажа (сверху номер скважины, снизу дебит)

Скважины задавались как совершенные по вскрытию водоносного горизонта, а фильтры устанавливались ниже динамического уровня (3.0 м) на 2-3 м, в зависимости от мощности водоносного горизонта. Производительность каждой скважины составила 2л/с, а режим их эксплуатации - стационарный в течение всего срока их работы. В процессе моделирования работы системы вертикального дренажа в скважинах варьировались интервалы установки фильтров по всему разрезу водоносной толщи. Однако их установка на различных интервалах не влияла на дина-

мику понижения уровней грунтовых вод. Следует также отметить, что и во временном разрезе не отмечалось изменений в динамике понижения уровня подземных вод. Это указывает на то, что в данном случае по величине воздействия на режим уровня грунтовых вод гидрогеологические параметры водоносного горизонта играют второстепенную роль по сравнению с антропогенными факторами, т.е. инфильтрациями из поверхностных и подземных коммуникаций. После задания на модели всех проектных параметров системы вер-тикального дренажа были получены результаты ее работы. На рис. 3 приведены прогнозируемые конфигурации гидроизогипс и глубин залегания уровня грунтовых вод на территории населенного пункта Забрат через 176 дней работы сети проектных скважин.

Фактически на модели получены все необходимые параметры и данные для разработки проектной документации для строительства системы вертикального дренажа исследованной территории.

Следующей типовой задачей, наиболее важной для Абшеронского полуострова, являлось выявление путей миграции загрязнителей нефтяных сбросных вод на примере 6-го месторождения Сураханинского НГДУ. Моделируемая территория площадью 9 км² расположена в районе н.п. Ени Сураханы. На модели она охвачена сеткой 30×30 блоков с шириной стороны отдельного блока 100 м. Источниками загрязнения территории н.п. Ени Сураханы являются озера и озера, в которые сбрасываются нефтяные воды. Причем данные озера расположены на командных высотных отметках моделируемой территории, а направление подземного стока, аналогично рельефу местности, понижается в направлении н.п. Ени Сураханы. Изменения высотных отметок рельефа и гидрорельефа составляют от +50 в районе озер до +15 на восточной окраине Ени Сураханов. Разница высотных отметок составляет 35 м, а уклон гидрорельефа определяется в величинах 0.011-0.012.

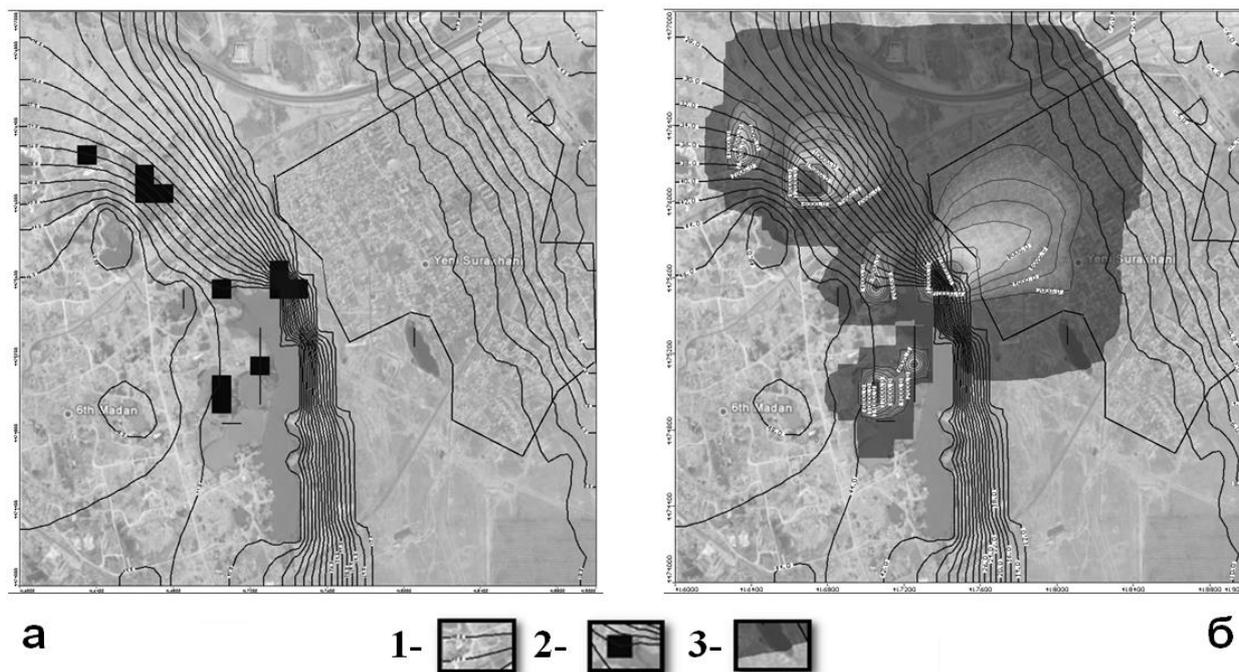


Рис. 4. Карта-схема гидрорельефа н.п. Ени Сураханы с нанесением источников загрязнения (а); карта-схема путей миграции загрязнителей в районе н.п. Ени Сураханы (б); 1 - гидроизогипсы; 2 - источники загрязнения; 3 - ареолы рассеяния загрязнителей

Источники загрязнения определялись по данным химических анализов сбросных нефтяных вод, приведенных в справочнике [7], в мг/л, при этом компьютерная программа позволяет определить пути миграции любого из составляющих элементов загрязнителя в отдельности. В данном случае нами на модели задавался весь «букет» загрязнителей, слагающих сбросные нефтяные воды (нефтепродукты, фено-

лы, СПАВ и др.). Задавался подекадный шаг аппроксимации ($t = 10$ сут), при этом стабилизация процесса миграции произошла через 90 суток.

Из рис. 4 видно, что практически на всей территории, расположенной ниже по гидрорельефу от источников загрязнения, отмечаются заражение подземных вод продуктами сбросных нефтяных вод, пути и скорости их миграции.

Таким образом, приведенные выше примеры решения задач на разработанной геофильтрационной модели указывают на широкие возможности оперативного решения разного рода прогнозных гидрогеологических задач для целей управления и устойчивого развития геозоологической системы, а также рационального использования и охраны подземных вод Апшеронского полуострова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алекперов А.Б. Апшерон: проблемы гидрогеологии и геозоологии. Баку: Аз. Гос. Книжн. Палата, 2000. 484 с.
2. Алиев Ф.Ш., Байрамов Т.А. О геологическом строении и гидрогеологических условиях Апшеронского полуострова // Отечественная геология. 1993. № 3. С. 73-78
3. Исрафилов Р.Г. Изучение и прогноз изменения гидрогеологических условий Апшеронского полуострова в целях оценки развития подтопления земель: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Баку. 1985.
4. Исрафилов Ю.Г., Мамедов И.Р. Концептуальная модель формирования и схематизация граничных условий подземных вод Апшеронского полуострова // Изв. НАН Азербайджана. Сер. «Науки о Земле». 2008. № 2. С. 74-77.
5. Pollock D.W. Source Code and Ancillary Data Files for the MODPATH Particle Tracking Package of the Ground-Water Flow Model MODFLOW - Version 3, Release 1:U.S. // Geol. Survey Open-File Rep. 1994. 94-463. 2 p.
6. Visual MODFLOW // Waterloo Hydrogeologic Inc., Waterloo, 1998. 611 p.
7. Ахундов А.Р., Мехтиева У.Ш., Рачинский М.З. Справочник по подземным водам нефтегазовых и газоконденсатных месторождений Азербайджана. Баку: Маариф, 1978. 327 с.

*Поступила в редакцию 30.11.2012 г.
Принята к печати 21.03.2013 г.*