

Е.С. Тужикова, инж. II кат.
(Приднепровский научный центр НАН Украины и МОН Украины)
**ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ**

В статті розглянуто проблему забруднення підземних вод. Розглянуто основні методи моделювання і прогнозування розповсюдження забруднення в підземних водах. Показано, що існуючі методи моделювання міграції забруднень потребують суттєвої модернізації.

**MODELING OF MIGRATION ISSUES CONTAMINATION
IN GROUNDWATER**

The article deals with the problem of groundwater pollution. The main methods of modeling and predicting spread of contamination in groundwater. It is shown that the existing methods for modeling migration of contaminants need substantial upgrading.

Вода является наиболее распространённым и универсальным природным ресурсом. Водные ресурсы, как и полезные ископаемые, – часть нашего национального богатства. Тяжело найти область народного хозяйства или отдельные производства, которые могли бы обойтись без воды.

Взаимодействие человека и гидросферы имеет различные аспекты. Среди отрицательных последствий этого взаимодействия наиболее серьезными являются загрязнение и истощение поверхностных и подземных вод вследствие бурного развития всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, роста численности населения в отдельных странах и т.д.

Проблема загрязнения гидросферы является одной из наиболее актуальных и вместе с тем важных вопросов в охране окружающей среды. Острота этой проблемы возрастает в связи с загрязнением крупных рек и озер и стремлением к переходу на водоснабжение подземными водами, обладающими, по сравнению с поверхностными, более высоким качеством и стабильностью.

Например, в Днепропетровской области, которая хорошо снабжена поверхностными водными ресурсами, водоснабжение восточной ее части и частично центральной осуществляется за счет подземного водозабора (рис. 1).

При этом, эти же части области характеризуются значительной техногенной и антропогенной нагрузкой (рис.2).

Загрязнение подземных вод вызывает ухудшение их свойств и состава, ограничивающее или даже не допускающее использование подземных вод (для питьевых, хозяйственных, ирригационных и других целей). Загрязнение подземных вод происходит под влиянием как техногенных, так и естественных природных процессов. Это воздействие на подземную гидросферу может иметь как региональный, так и локальный характер.

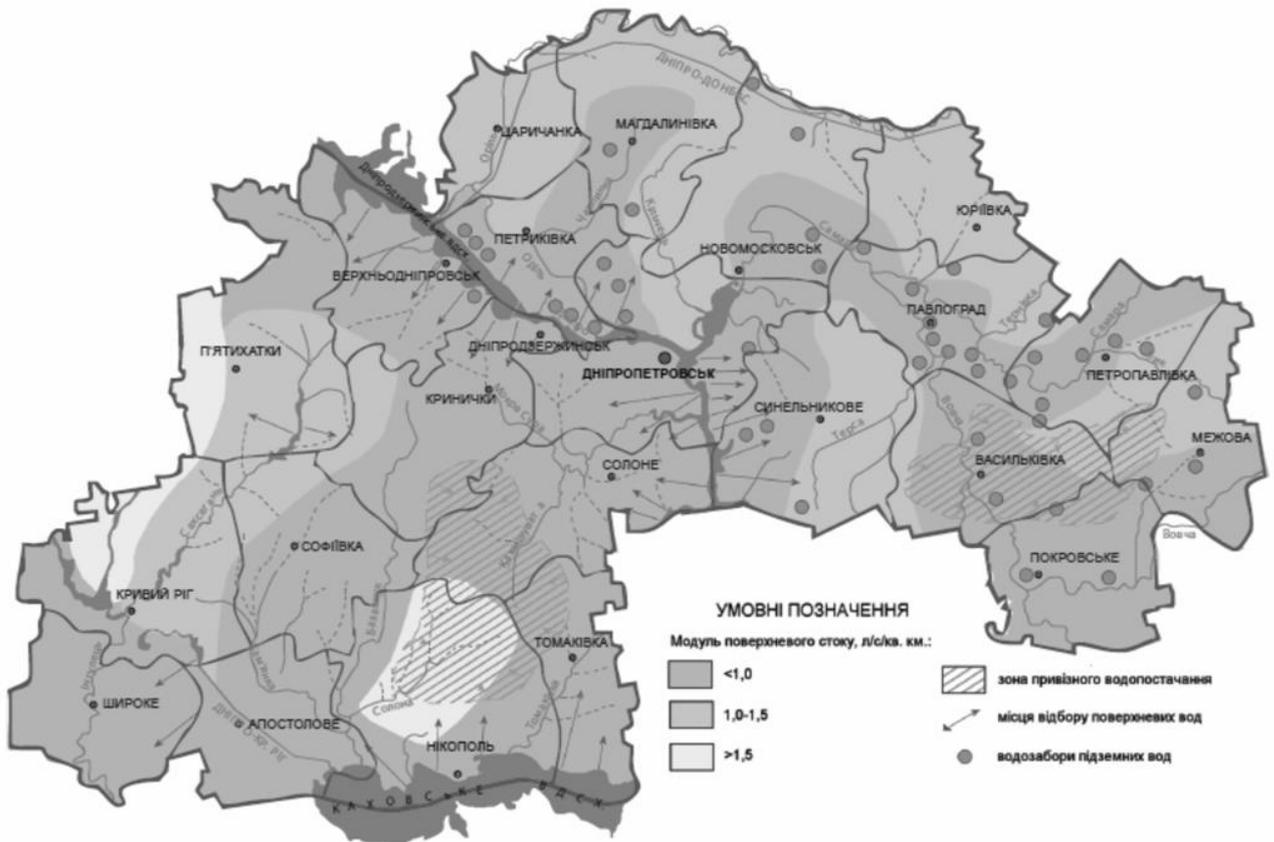


Рис.1 – Типи та розташування водозаборів на території Дніпропетровської області (по даним [1])

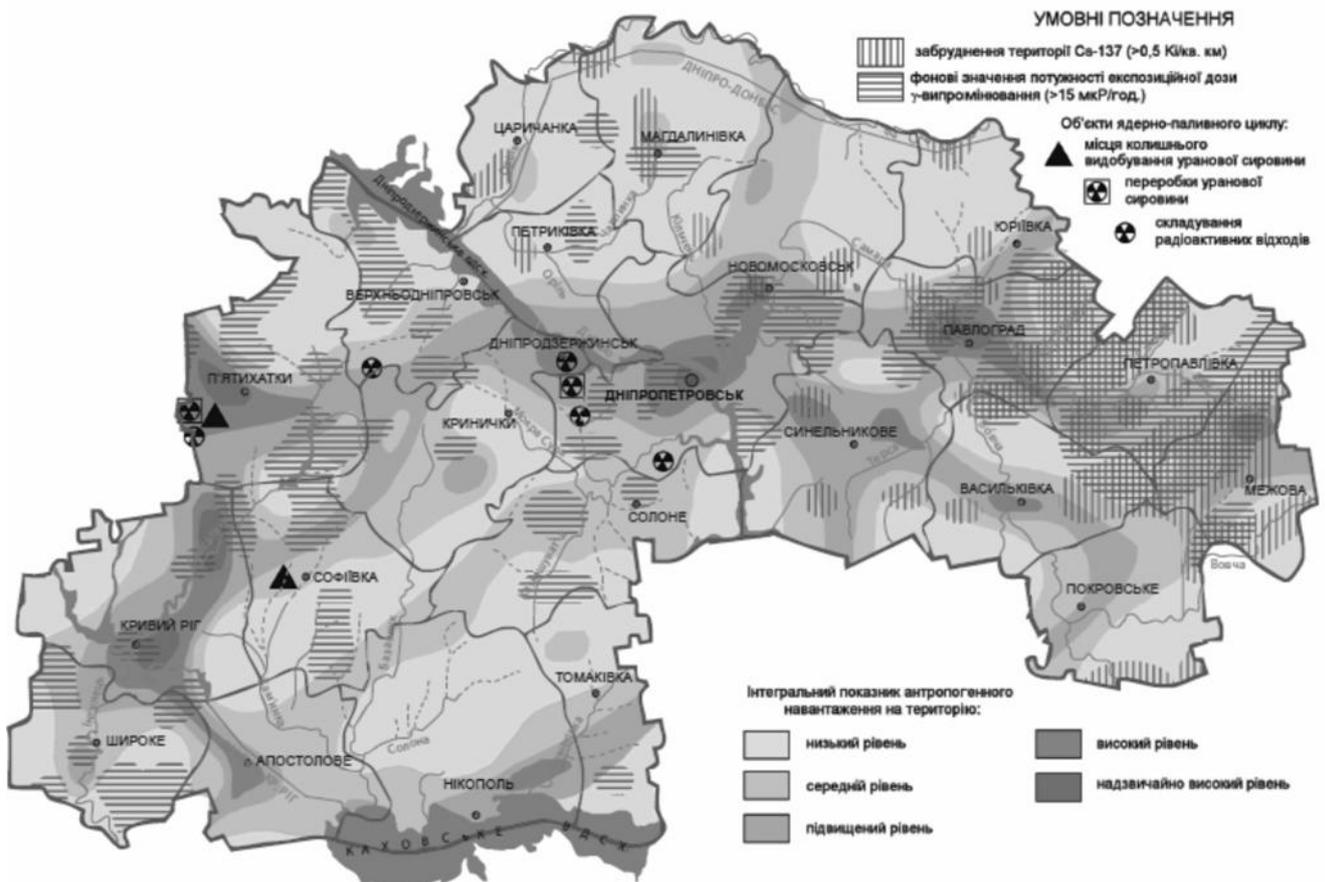


Рис. 2 – Уровні антропогенної навантаження на території Дніпропетровської області (по даним [1])

Подземные воды, по сравнению с поверхностными, в целом характеризуются значительно более высокой естественной защищенностью от различных видов загрязнения. Однако и для подземных вод, особенно для условий первого от поверхности грунтового водоносного горизонта, существует достаточно много путей их возможного загрязнения.

Загрязнение подземных вод может происходить через атмосферу путем выпадения и последующей инфильтрации уже загрязненных атмосферных осадков; через загрязненные поверхностные воды на участках их поглощения в грунтовые водоносные горизонты; при инфильтрации чистых атмосферных осадков и поверхностных вод через загрязненную поверхность земли и почвенный слой (при внесении минеральных удобрений и ядохимикатов); путем фильтрации жидких продуктов или отходов производства и канализационных стоков при утечках из трубопроводов и сетей или на местах их складирования (сточные ямы, отстойники, шламонакопители и др.) при отсутствии или недостаточной надежности противофильтрационных мер; при инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод на участках складирования твердых отходов (коммунальные или промышленные свалки, отвалы горнодобывающих предприятий и др.). Источником интенсивного загрязнения, в том числе и глубоко залегающих подземных вод, являются захоронение жидких и твердых отходов промышленного производства (как правило, наиболее вредных, высокотоксичных или радиоактивных отходов) путем закачки их в глубокие поглощающие скважины или «захоронения» в отработанных шахтах и карьерах.

Также источниками загрязнения могут являться ликвидированные, но не изолированные с поверхности колодцы, буровые скважины, шахтные стволы, а также глубокие скважины, разведочные или эксплуатационные (нефть, газ, промышленные воды) или скважины, используемые для закачки промышленных отходов при их недостаточно надежной изоляции от вышележащих водоносных горизонтов.

Источники накопления загрязняющих компонентов разделяются на действующие, периодически и случайно действующие. Довольно часто загрязнения подземных вод происходит несколькими путями и из разных источников (рис. 3). Такое загрязнение является наиболее опасным и длительным [2].

На территории Украины по состоянию на 01.01.2008 год выявлено 326 основных очагов загрязнения подземных вод. Воды в зоне влияния этих очагов загрязнены хлоридами, сульфатами, нитратами, аммиаком, роданидами, фенолами, нефтепродуктами, марганцем, свинцом, стронцием в количествах, в отдельных случаях, в несколько раз превышающих допустимые.

На территории Днепропетровской области, например, загрязнение подземных вод часто наблюдается в районах развития промышленности, а наиболее интенсивное - на участках накопления твердых и жидких промышленных отходов. Значительные территории области отведены под сельскохозяйственные угодья, где главное значение в загрязнении подземных вод имеют минеральные удобрения. На территории все той же Днепропетровской области выявлены значительные по площади территории, где отмечают достаточно

большие значительные превышения ПДК по кадмию (Cd), селену (Se), ртути (Hg), литию (Li), свинцу (Pb), бромю (Br), барию (Ba).

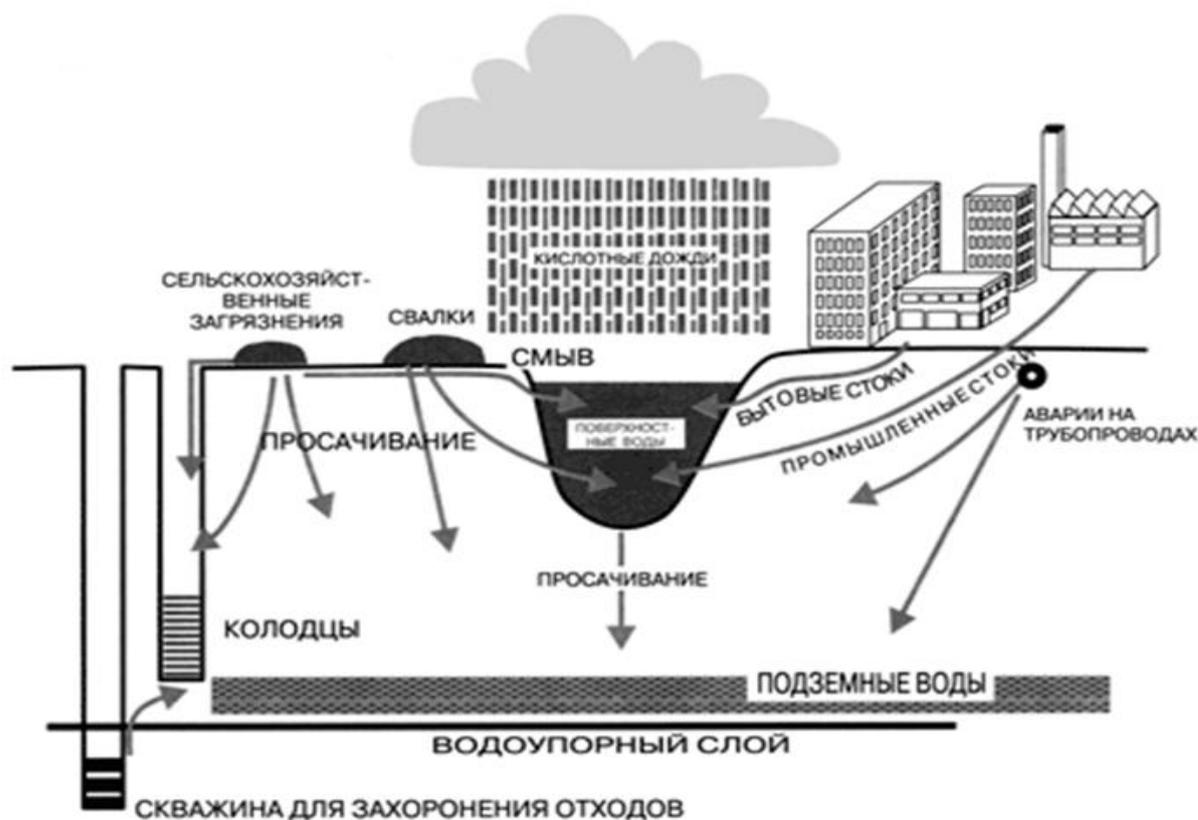


Рис. 3 – Источники загрязнения подземных вод

Также выявлены комплексные техногенные аномалии. Наиболее крупной из них является аномалия на правом берегу Днепра г. Днепропетровска, в районах населенных пунктов Широкое, Апостолово, Соленое, юго-западнее Межевой. Здесь в больших количествах зафиксированы молибден (Mo), никель (Ni), кобальт (Co), мышьяк (As), бром (Br), селен (Se), ртуть (Hg), свинец (Pb) [1].

В 2007 году выявлено пять новых основных очагов загрязнения, в том числе: Автономная Республика Крым - 4 очага бактериологического загрязнения, Черкасская область - 1 очаг хлоридного загрязнения, а также 42 новых локальных очага органического и химического загрязнения (Львовская область - 18, Николаевская - 17, Одесская - 5, Тернопольская и Черновицкая области - по 1).

Под влиянием интенсивной эксплуатации и водоотлива сформировалось 29 участков истощения подземных вод (Автономная Республика Крым - 26, Днепропетровская область - 3), где происходит снижение уровня, подтягивания соленых вод из нижезалегающих водоносных горизонтов и, как следствие, увеличение минерализации и общей жесткости подземных вод. Через истощение запасов подземных вод, а также их загрязнения значительно ухудшились условия водоснабжения местного населения [4].

Предотвращение загрязнения и истощения подземных вод и неблагоприятных последствий от этих явлений – главная задача охраны подземных вод – нового направления гидрогеологии, развивающегося в последние годы.

Вместе с тем, по сравнению с поверхностными, охрана подземных вод от загрязнения представляет собой гораздо более сложную задачу, что связано с необходимостью не столько заранее обнаружить, сколько своевременно предупредить возможность поступления загрязнителя в водоносный пласт. В противном случае загрязнение подземных вод обнаруживается с запозданием и ликвидация его становится делом сложным, дорогостоящим, а порой и просто невозможным [2].

Ввиду природной динамики, присущей всем подземным водам, загрязнения в водоносных горизонтах могут распространяться на большие расстояния.

Распространение загрязняющих веществ от участков (очагов) загрязнения в самом водоносном горизонте определяется направлением и скоростью движения потока подземных вод. Однако конвективный перенос загрязняющих веществ с потоком подземных вод практически всегда сопровождается проявлением ряда химических (выщелачивание, выпадение в осадок, комплексообразование и др.), физико-химических (сорбция, диффузия, дисперсия) и микробиологических процессов, существенно влияющих на состав и содержание тех или иных компонентов. При этом по существующим представлениям наиболее существенными являются процессы химической и физической сорбции загрязняющих веществ, активно протекающие в почвенном слое, породах зоны аэрации, в самих водоносных горизонтах и разделяющих слабопроницаемых слоях. Наибольшей сорбционной емкостью обычно характеризуются почвы и рыхлые тонкодисперсные, в том числе и слабопроницаемые, породы (супеси, суглинки, глины и др.); наименьшей – трещиноватые и закарстованные породы, в которых практически все виды загрязнения распространяются сравнительно быстро и на значительные расстояния.

Изучению закономерностей распространения загрязнений и подземных водах посвящены работы многих советских (Ф. М. Бочеве, Н. Н. Веригин, В. М. Гольдберг, Е. Л. Минкин, В. А. Мироненко, А. Е. Орадовская, А. А. Рошаль, В. М. Шестаков и др.) и зарубежных (Р. Гловер, Р. Дей, А. Шейдеггер, Ж. Фрид и др.) исследователей.

Проведенные исследования показали, что процесс изменения качества воды является весьма сложным и многофакторным, а его прогнозы с учетом действия всех факторов при существующей степени изученности этого процесса практически невозможны. В связи с этим при решении инженерных задач часто используют приближенные решения, основанные на различного рода допущениях. Подробная характеристика моделей, используемых при прогнозах миграции, приведена в работах [5-7]. При этом под миграцией в настоящее время принято понимать «перемещение и трансформацию компонентов подземных вод, приводящие к изменению их содержания» [7].

Для количественной оценки и прогноза состояния экологических систем, их

реакций на антропогенное воздействие, особенно на уровне небольших, но распространенных на значительных территориях воздействий, исключительно эффективным является метод математического моделирования. Метод математического моделирования играет значительную роль, особенно если конечной целью является не только описание и оценка состояния окружающей среды, но и его регулирования с учетом фактического и прогнозируемого состояния, с учетом экологического резерва, что в итоге должно служить оптимизации взаимоотношений человеческого общества с окружающей средой.

Для эффективного выбора мер и средств защиты подземной гидросферы от источников загрязнения, находящихся в недрах (ликвидированные отработанные рудники, подземные хранилища загрязняющих веществ) и могут мигрировать по каналам гидродинамических связей, возникает необходимость создания математических моделей и систем автоматизированного пространственно-временного прогнозирования загрязнения подземных водоносных горизонтов загрязняющими веществами на основе аналитических зависимостей изменения в пространстве и времени концентраций загрязняющих веществ, которые позволяют спрогнозировать ареалы распространения мигрантов при ограниченном количестве исходной информации.

Изучение ареальных частей объемов рассеивания загрязняющих веществ в подземном водоносном потоке проводится в настоящее время методами математического и физического моделирования в лабораторных условиях и на натуральных экспериментах.

Прогнозирование изменений гидродинамического и гидрохимического состояния территорий применяются различные методы. Например, метод аналогий, который применяется для приближенных оценок при отсутствии необходимых для точного прогноза данных. Метод физического моделирования используется при отсутствии математической модели процесса или имеющиеся данные недостаточны для применения математического аппарата. При этом, физическое моделирование проводится как в лабораторных так и в натуральных условиях.

Среди методов математического моделирования следует выделить несколько основных [8]. Метод гидравлических аналогий предусматривает замену области фильтрации гидравлической моделью и основан на применении закона Дарси. Метод электрогидродинамических аналогий основан на математической аналогии процесса движения жидкости в пористой среде и тока проводнике. Близкие математические выражения закона Дарси и закона Ома позволяют проводить аналогии между напором и потенциалом тока, фильтрационным и электрическим сопротивлением, расходом воды и силой тока. С учетом рассчитанных масштабных коэффициентов набирают по трем координатам электрическую модель фильтрационной среды с заданными границами фильтрационного поля. Моделирование проводят на сеточных моделях либо на сплошной среде.

Часто используют и стохастическое моделирование.

Методы численного моделирования с использованием ЭВМ основаны на решении основного гидрогеологического уравнения баланса вод, которое необходимым образом преобразуется для конкретных гидрогеологических условий.

Для целей численного моделирования разработан и применяется целый ряд программного обеспечения:

- MtWolFw - программный комплекс для построения трехмерных конечно-разностных моделей фильтрации и переноса загрязнений. Имеет графический ввод и редактирование данных, 2D и 3D представления результатов;

- DensFlow - конечно-разностная нестационарная двумерная фильтрационная модель с учетом переменной плотности фильтрующегося флюида (двухфазный поток с постоянной плотностью по каждой фазе);

- GWFWin3D - конечно-разностная нестационарная трехмерная модель фильтрации подземных вод;

- RELIS - конечно-разностная нестационарная двумерная осесимметричная модель фильтрации подземных вод, имитирующая проведение опытно-фильтрационных работ;

- NODEK - конечно-разностная одномерная модель миграции подземных вод с учетом конвекции, дисперсии, нелинейной гистерезисной сорбции/десорбции, осложненной радиоактивным распадом;

- AQUITEST - программное обеспечение для анализа результатов опытно-фильтрационных работ на базе аналитических зависимостей (более ста решений краевых задач);

- GWF&GEM - решение сопряженной задачи формирования естественного электрического поля при фильтрации подземных вод (2D);

- и ряд других.

Кроме того, численное моделирование гидрогеологических задач производится на разработанном и нелицензированном программном обеспечении.

Принципиально большие возможности методов моделирования в большинстве случаев трудно реализуемы из-за недостаточной гидрогеологической информации и неуниверсальности модели, которая может подходить только для какого-то конкретного объекта.

Современное развитие знаний помогает решить как классические задачи, например моделирование движение грунтовых вод и перенос растворенных в них загрязняющих веществ, так и оригинальные, например, расчет интенсивности поступления загрязняющих веществ с поверхности грунта в грунтовые воды и оценка риска загрязнения водных объектов путем стохастического моделирования.

Но, несмотря на возможность прогнозирования, проблема охраны подземных вод от загрязнения остается острой и является, прежде всего, проблемой социально-экономической.

К тому же, ввиду образовавшихся за последние годы значительных площадей с нарушенным геологическим и соответственно гидрогеологическим строением толщи пород, созданных техногенных массивов, большинство известных гидрогеологических законов, на которых основываются применяемые методы математического, численного, имитационного, физического моделирования, не работают, что неизбежно приводит к ошибкам в прогнозах.

Таким образом, можно сделать вывод, что существующие методы моделиро-

вания миграции загрязнений подземных вод не учитывают современные изменившиеся условия залегания и протекания подземных вод. Следовательно, для создания эффективной модели необходимо первоначально установить принципиально новые закономерности гидродинамического, гидрохимического баланса вод, взаимодействия водоносных горизонтов с техногенными объектами, условия распространения подземных вод на территориях с нарушенным геологическим строением массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Екологічний атлас Дніпропетровської області / За заг.ред. А.Г.Шапаря. - Дніпропетровськ: Моноліт, 2009. – 64 с.
2. Орадовская, А.Е. Санитарная охрана водозаборов подземных вод / А.Е. Орадовская, Н.Н. Лапшин. — М.: Недра, 1987. — 167 с.
3. Шварцев, С.Л. Общая гидрогеология: Учебник для вузов / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1996. – 423 с.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні Міністерства охорони навколишнього природного середовища України
5. Рошаль, А.А. Методы определения миграционных параметров / А.А. Рошаль. - М. ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ, 1980. - 62 с.
6. Мироненко, В.А. Горнопромышленная гидрогеология / В.А. Мироненко, Е.В.Мольский, В.Г.Румынии. - М.: Недра, 1989. — 287 с.
7. Лукнер, Л. Моделирование миграции подземных вод / Л. Лукнер, В.М.Шестаков. - М.: Недра, 1986.- 208 с.
8. Иванов, В.А. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем / В.А. Иванов, Ю.С.Тучковенко. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2006.- 368 с.

УДК 621.6.04:[622.74:621.928-752.001.572].001.361

П.Е. Филимонов, к. т. н.
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»),
В.Л. Морус, к. т. н.
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОГОПРОЛЕТНЫХ ГИБКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С СЫПУЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Для математичних моделей гнучкої віброуючої поверхні й сипучого навантаження розроблений метод ідентифікації параметрів, заснований на мінімізації квадратичного нев'язання контрольованого показника об'єкта і його математичного опису.

METHOD OF IDENTIFICATION OF THE PARAMETERS OF MATHEMATICAL MODELS MULTISPAN FLEXIBLE SURFACES, INTERACTING WITH BULK TECHNOLOGICAL LOADING

For the mathematical models of flexible vibrating surface and bulk load developed a method of parameter identification based on the minimization of the quadratic residual rate controlled object and its mathematical description.

Построение математической модели, адекватной объекту исследования сопряжено со значительными трудностями. Затруднения связаны, как правило, с выбором степени детализации расчетной схемы, а также в связи с определением значений отдельных параметров объекта. Для построения математической моде-