

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ З КУРСУ «ОХОРОНА ПІДЗЕМНИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ТА ВИСНАЖЕННЯ»

Курс «охорона підземних вод від забруднення та виснаження» складається із трьох розділів.

РОЗДІЛ № 1

Лекція № 1. Вступ

(2 год.)

Поняття, що вивчаються: техногенний вплив на довкілля, на геологічне середовище і підземні води, наслідки забруднення.

Сучасний стан техногенного впливу на оточуюче середовище в цілому та геологічне середовище зокрема. Техногенний вплив на підземні води

Навички, які отримуються: вірно класифікувати і розпізнавати основні фактори забруднення довкілля і підземних вод

В глобальной проблеме охраны геологической среды заметное место отводится защите от загрязнения важнейшего ее компонента – подземных вод. Особенно остро стоит эта проблема в горном деле.

В конечном итоге эксплуатация крупных горнодобывающих предприятий нередко приводит к необратимым явлениям регионального характера – истощению ресурсов и ухудшению качества подземных вод на больших площадях. При дренаже месторождений откачиваются большие объемы воды, что вызывает формирование вокруг горных выработок депрессионных воронок радиусами в десятки километров.

Количественная оценка отрицательного воздействия горного производства на природную среду и своевременная выработка необходимых защитных мероприятий возможны только при наличии необходимых для этого исходных данных, получаемых, на стадии гидрогеологической разведки и гидрогеологических наблюдений на действующем объекте.

Но к сожалению, получаемая при разведочных работах, дополнительных изысканиях и режимных эксплуатационных наблюдениях информация в действительности часто не позволяет хотя бы ориентировочно оценить возможные масштабы процессов ЗПВ.

В этом есть объективные причины:

- ▶ новизна проблемы и недостаточная ее научная разработанность;
- ▶ сложность процессов миграции загрязнения в подземной гидросфере;
- ▶ ограниченные возможности изучения этих процессов традиционными методами гидрогеологических опробований и наблюдений;
- ▶ слабая разработанность комплекса опытных работ и наблюдений, специально ориентированных на решение задач охраны от ЗПВ и существенно отличающихся от традиционных методов исследований;
- ▶ отсутствие в большинстве случаев целенаправленного анализа данных режимных наблюдений на объектах;
- ▶ особо стоит отметить специфику, обусловленную технологией горного производства, а именно – тесную комплексацию гидродинамических, гидрохимических и гидрогеофизических методов изучения формирования качества подземных вод в техногенно нарушенных условиях.

Нарушение исходной геохимической обстановки обусловлено прежде всего накоплением в поверхностных техногенных бассейнах рудничных и технических вод, сопутствующих горному производству.

Изменение гидрохимической обстановки во многом определяются нарушениями гидродинамического режима, которые выражаются:

В интенсивном понижении напоров подземных вод на больших площадях и резком возрастании скоростей фильтрации;

- ▶ В увеличении степени взаимосвязи поверхностных и подземных вод;
- ▶ В появлении новых областей питания и разгрузки водоносных пластов;
- ▶ В изменении интенсивности инфильтрационного питания подземных вод;
- ▶ В усилении взаимосвязи между водоносными горизонтами посредством перетекания;
- ▶ В обезвоживании верхних зон гидрогеологических структур, приводящем к многократному увеличению мощности зоны аэрации.

Таким образом отмеченные изменения в подземной гидродинамике во многом определяют возможность, масштабы и специфику ЗПВ:

- ▶ интенсифицируется привнос загрязнений с поверхности, в первую очередь за счет фильтрационных потерь из бассейнов промстоков и поверхностных водотоков;
- ▶ из-за резкого роста скорости фильтрации подземных вод, они становятся активными транспортерами загрязнений;
- ▶ негативные тенденции в динамике качества подземных вод усиливаются благодаря изменению характера и условий взаимосвязи водоносных горизонтов, содержащих воды различного состава;
- ▶ отмечается активизация физико-химических процессов в зоне аэрации и в глубоких зонах обводненного разреза.

Література [1, 2, 3, 4, 5 , 6, 7]

ТЕМА № 1. Основні фактори, які визначають характер і можливі наслідки забруднення підземних вод

Лекція № 2. Основні фактори, які визначають характер і можливі наслідки забруднення підземних вод (2 год.)

Поняття, що вивчаються: *Основні фактори, що визначають характер і можливі наслідки забруднення підземних вод. Режим підземних вод, розробка родовищ корисних копалин, зміна гідродинамічного балансу відкритих водоносних структур.*

Основні фактори, що визначають характер і можливі наслідки забруднення підземних вод. Техногенні порушення режиму підземних вод при розробці родовищ корисних копалин. Зміна гідродинамічного балансу відкритих водоносних структур як чинник, що зумовлює масштаби, специфіку та можливість забруднення підземних вод.

Навички, які отримуються: *вірно класифікувати і розпізнавати зміну гідродинамічного балансу відкритих водоносних структур*

Проникновение в водоносные горизонты природных некондиционных вод и техногенного загрязнения обуславливает ЗПВ в горнодобывающих районах. Процесс загрязнения зависит от обширного количества факторов, отражающих характеристики:

- ▶ источников загрязнения с учетом специфических свойств (физических, химических) загрязняющих компонентов;
- ▶ водоносной системы (в частности, степени ее защищенности от загрязнения) и условий геофильтрации;
- ▶ миграционного процесса.

По степени гидродинамического влияния на подземные воды источники загрязнения дифференцируются на гидродинамически активные и гидродинамически пассивные — в зависимости от вызываемых ими изменений в структуре исходного потока.

Гидродинамическая связь источника с подземными водами или с дренируемыми выработками может быть: совершенной и несовершенной — по степени и характеру вскрытия.

Характеристика загрязняющих компонентов (растворов) включает описание их физических и химических свойств и показателей биологической активности. Здесь выделяются: стоки, слабо отличающиеся по физическим свойствам (плотности, вязкости) от пластовых вод и стоки, имеющие заметные отличия в плотности и вязкости от аналогичных показателей пластовых вод.

Также важнейшим показателем является исходное качество и характер использования (текущего или перспективного) пластовых вод: естественно, в частности, что требования к охране подземных вод снижаются или вообще снимаются, если они представлены некондиционными растворами.

С точки зрения возможных физико-химических превращений и процессов взаимодействия загрязняющих компонентов с подземными водами и с горными породами, мигранты подразделяются на: нейтральные, подверженные физико-химическим или микробиологическим превращениям и существенно влияющие.

По преобладающим механизмам миграции выделяются: молекулярно-диффузионный, конвективный и дисперсионно-конвективный перенос.

Характеристика миграционного потока включает представления: о топологии области миграции в плане и разрезе, о степени рассеяния вещества в пределах ореола загрязнения, о мерности миграционного потока, о условиях на границах области миграции и о характере изменчивости миграционного потока во времени.

Характеристика загрязняющих компонентов (растворов) включает описание их физических и химических свойств и показателей биологической активности. Здесь выделяются: стоки, слабо отличающиеся по физическим свойствам (плотности, вязкости) от пластовых вод и стоки, имеющие заметные отличия в плотности и вязкости от аналогичных показателей пластовых вод.

Также важнейшим показателем является исходное качество и характер использования (текущего или перспективного) пластовых вод: естественно, в частности, что требования к охране подземных вод снижаются или вообще снимаются, если они представлены некондиционными растворами.

С точки зрения возможных физико-химических превращений и процессов взаимодействия загрязняющих компонентов с подземными водами и с горными породами, мигранты подразделяются на: нейтральные, подверженные физико-химическим или микробиологическим превращениям и существенно влияющие.

По преобладающим механизмам миграции выделяются: молекулярно-диффузионный, конвективный и дисперсионно-конвективный перенос.

Характеристика миграционного потока включает представления: о топологии области миграции в плане и разрезе, о степени рассеяния вещества в пределах ореола загрязнения, о мерности миграционного потока, о условиях на границах области миграции и о характере изменчивости миграционного потока во времени.

Література [1, 2, 3, 7]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1, Оцінка техногенних порушень природного водного балансу території при розробці родовищ корисних копалин

Література [1, 2, 3, 7]

ТЕМА 2. Основні фактори, що визначають характер і можливі наслідки забруднення підземних вод. Характеристика джерел забруднення та забруднюючих компонентів. Характеристика водоносної системи і умов геофільтрації. Характеристика міграційного процесу.

Лекція № 3. Типізація умов забруднення підземних вод в гірничовидобувних районах (2 год.)

Поняття, що вивчаються: диференціація за характером джерел забруднення. Ореоли розтікання та ореоли забруднення підземних вод.

Типізація умов техногенного забруднення підземних вод у гірничовидобувних районах, та диференціація за характером джерел забруднення. Ореоли розтікання та ореоли забруднення підземних вод. Три типи мігрантів-стоків.

Навички, які отримуються: *вірно проводити типізацію джерел забруднення і виявляти ореоли розтікання та ореоли забруднення підземних вод.*

Типизация начинается с дифференциации по характеру источников загрязнения:

▶ поверхностные источники — в подавляющем большинстве случаев носят техногенный характер; имеют довольно четкие плановые границы; располагаются на удалении от техногенных контуров разгрузки подземных вод, обычно существенно превосходящем мощность водоносного комплекса, что предопределяет развитие загрязнений в условиях плановой фильтрации; существенно зависят по своему воздействию от защитных свойств естественных покровных или техногенных отложений;

▶ Подземные бассейны некондиционных вод, имеющие чаще всего естественный генезис, располагаются на сравнительно больших глубинах от исходного уровня подземных вод. Решающим фактором, определяющим возможность и степень загрязнения, является водоотбор. При этом наблюдения за изменением качества подземных вод существенно облегчаются благодаря возможности контроля непосредственно через водозаборные устройства.

Дальнейшая типизация для поверхностных источников развивается путем выделения двух характерных видов ореолов загрязнения— ореолов растекания и ореолов рассеяния.

Первые, сопровождающиеся подчиненным развитием плановой поперечной дисперсии, характерны для гидродинамически активных источников загрязнения (бассейнов промстоков), интенсивность фильтрации из которых заметно превосходит расчетный расход естественного потока. В развитии ореолов второго вида, характерных для гидродинамически пассивных источников, интенсивность инфильтрации из них заметно уступает расчетному расходу естественного потока, и поперечная дисперсия играет важнейшую роль.

Следующим шагом типизации является выделение трех типов мигрантов-стоков: 1) трассеры (полностью нейтральные стоки), 2) химически активные, но физически нейтральные стоки и 3) физически активные (тяжелые или, наоборот, легкие) стоки.

Література [1, 2, 3, 5, 6]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1, Показники, характеризуючи інтенсивність процесів міграції забруднення (оцінка вертикальної проникності порід, оцінка захищеності водотривких горизонтів тощо)

Література [1, 2, 3, 5, 6]

РОЗДІЛ № 2

Види та завдання гідрогеологічних робіт, які виконуються для оцінки забруднення підземних вод.

ТЕМА 3. Види та завдання гідрогеологічних робіт щодо оцінки забруднення підземних вод.

Лекція № 4. Завдання і види гідрогеологічних робіт за оцінкою забруднення підземних вод (2 год.)

Поняття, що вивчаються: *Вимоги до інформаційного забезпечення при вирішенні питань охорони підземних вод.*

Основні вимоги до проектів гірничовидобувних підприємств у зв'язку з охороною підземних вод від забруднення. Особливі розділи, що входять до «Оцінки впливу на навколишнє середовище» та безпосередньо стосуються охорони підземних вод. Вимоги до інформаційного забезпечення при вирішенні питань охорони підземних вод.

Навички, які отримуються: *вірно оцінювати Вимоги до інформаційного забезпечення при вирішенні питань охорони підземних вод.*

Для того чтобы сформулировать эти задачи с вытекающими отсюда рекомендациями по составу гидрогеологических работ, необходимо иметь хотя бы общие представления о требованиях, предъявляемых к проектированию горных предприятий в свете проблемы охраны подземных вод.

Проекты горных предприятий должны предусматривать выполнение следующего комплекса основных требований, связанных с предотвращением или ограничением вредного воздействия горных работ и горно-обогажительного цикла на подземные воды.

▶ 1) Схемы горных работ, дренажа и водоотлива отвечают требованиям оптимальности;

▶ 2) Исключается или, по крайней мере, ограничивается допустимыми пределами поступление в водоносные пласты загрязненных вод из поверхностных источников техногенного характера;

▶ 3) Должен быть предусмотрен отдельный дренаж водоносных комплексов, содержащих воды резко различного качества;

▶ 4) Схемы отвода, сброса и утилизации дренажных или шахтных вод обеспечивают сокращение до минимума бесполезных потерь извлекаемых подземных вод, с одной стороны, и предотвращение ощутимого (недопустимого) загрязнения ими подземных и поверхностных вод — с другой;

▶ 5) К началу строительства вводится в строй система оперативного контроля за изменениями режима подземных вод под влиянием горного производства, увязанная с действующей в районе режимной сетью.

В этом разделе, в частности, должны быть обоснованы и представлены:

▶ прогнозные оценки возможного истощения и загрязнения водоносных комплексов;

▶ прогнозные оценки влияния горного предприятия на условия работы действующих или проектируемых водозаборов;

▶ прогнозные оценки возможного загрязнения поверхностных водотоков и водоемов, гидравлически связанных с загрязняемыми водоносными комплексами;

▶ перечень контрольных мероприятий, обеспечивающих систематическую информацию о качестве подземных и поверхностных вод в границах предполагаемых ореолов загрязнения и о динамике уровней подземных вод;

- ▶ перечень предупредительных мероприятий, направленных на предотвращение или существенное сокращение интенсивности истощения и ЗПВ в зоне влияния горного предприятия;
- ▶ мероприятия активного характера по борьбе с истощением и загрязнением подземных вод на случай превышения допустимых пределов их истощения (загрязнения);
- ▶ мероприятия по комплексному использованию откачиваемых дренажных вод, увязанные с их утвержденными эксплуатационными запасами и общей региональной схемой водопользования;
- ▶ задачи гидрогеологической службы предприятия в свете охраны подземных вод.

Для оценки нарушений естественного водного баланса, во многом определяющих возможные изменения качества подземных вод, необходимы, в частности, показатели, характеризующие:

- ▶ ожидаемые темпы водоотбора подземных вод при эксплуатации систем осушения месторождения и соседних водозаборов питьевого и технического назначения;
- ▶ фильтрационные свойства водоносных комплексов с учетом возможных их техногенных изменений;
- ▶ граничные условия на контурах рек, естественных и технических водоемов с учетом возможных изменений в характере взаимосвязи поверхностных и подземных вод.

Для оценки их защитных свойств, дополнительно изучаются параметры, определяющие скорость движения фронта просачивания инфильтранта под действием гравитационных и сорбционно-капиллярных сил через слабопроницаемые покровные образования; наряду с составом и мощностью последних эти параметры являются основой для построения карт защищенности подземных вод от поверхностного загрязнения.

Для оценки степени и характера влияния горных отвалов на загрязнение пород зоны аэрации и на качество подземных вод дополнительно изучаются показатели процессов растворения и выщелачивания пород, подлежащих складированию на земной поверхности.

Література [1, 2, 3]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

- 1, Особливості проведення гідрохімічних досліджень джерел забруднення (промислових стоків) підземних вод.

Література [1, 2, 3, 5, 6]

ТЕМА 4. Оцінка порушень природного водного балансу території.

Лекція 5. Оцінка порушень природного водного балансу території (2 год.)

Поняття, що вивчаються: процеси міграції забруднення, оцінка вертикальної проникності порід, оцінка захищеності водоносних горизонтів.

Показники, які характеризують інтенсивність процесів міграції забруднення, оцінка вертикальної проникності порід, оцінка захищеності водоносних горизонтів. Гідрохімічні дослідження джерел забруднення (промислових стоків) підземних вод.

Навички, які отримуються: вміти правильно оцінювати захищеність водоносних горизонтів

Согласно поставленным требованиям, гидрогеологическая разведка должна предоставить информацию для прогнозов изменения качества подземных вод под влиянием горного производства с одновременным учетом необходимости оценки эксплуатационных запасов дренажных вод. Такой анализ включает:

- ▶ выявление региональных закономерностей формирования естественных ресурсов и качества подземных вод;
- ▶ региональную оценку защищенности водоносных горизонтов на основе данных о геоморфологических и ландшафтных особенностях территории, о литологическом составе, мощности и фильтрационных свойствах покровных отложений и коренных пород в зоне аэрации;
- ▶ выявление и типизацию возможных источников восполнения и загрязнения подземных вод с учетом предполагаемого горнообогатительного цикла;
- ▶ обоснование общих представлений о возможной картине фильтрации к горным выработкам и выявление наиболее вероятных путей миграции загрязнений в плане и в разрезе;
- ▶ сбор и обобщение данных по использованию (текущему и перспективному) водных ресурсов горнопромышленного района, а также учет объемов стоков горнорудных и сопутствующих предприятий.

В соответствии с требованиями к изученности месторождений с позиций охраны подземных вод, в состав специализированных гидрогеологических работ при разведке месторождения должны включаться:

- ▶ 1) изыскания на участках сброса промстоков с целью изучения возможной гидродинамической связи технических водоемов с подземными водами;
- ▶ 2) полевые опытно-фильтрационные работы миграционной направленности— для детализации фильтрационного строения разреза;
- ▶ 3) полевые индикаторные опробования водоносных пластов и пород зоны аэрации с целью изучения миграционных параметров;
- ▶ 4) лабораторные определения миграционных и некоторых фильтрационных свойств горных пород;
- ▶ 5) гидрогеофизические исследования, проводимые для литолого-структурного и фильтрационного расчленения водоносных комплексов, а также для изучения особенностей фильтрационных потоков на участках возможного ЗПВ;
- ▶ 6) специальные гидрогеохимические наблюдения.

Для более надежного планирования перечисленных работ в условиях повышенного информационного обеспечения целесообразно значительную их часть проводить в период детальной разведки, а то и доразведки месторождения. По всем этим причинам целесообразные условия постановки специализированных опытных работ в период разведки месторождений должны ограничиваться разумным минимумом.

В развитие только что изложенных позиций необходимо подчеркнуть, что за рамками опытных работ и наблюдений при разведке месторождений остается определение ряда важных исходных показателей которые на деле могут быть получены лишь преимущественно наблюдениями в процессе строительства и эксплуатации объектов горнодобывающего производства; к таким данным, в частности, относятся: а) гидродинамические показатели, характеризующие темпы региональной сработки запасов подземных вод, приуроченных к закрытым водоносным структурам с невыясненными элементами водного баланса; б) вертикальная проницаемость пород на участках возможного подтягивания глубинных рассолов; в) проницаемость подрабатываемых массивов; г) структура фильтрационных потоков в области влияния бассейнов промстоков на подземные воды и показатели взаимосвязи этих бассейнов с водоносными горизонтами; д) параметры физико-химического и биологического преобразования стоков по мере их миграции в пластовых условиях; е) показатели макродисперсии пластов с неупорядоченной фильтрационной неоднородностью.

Согласно поставленным задачам, в состав режимных наблюдений включаются: измерения уровней (напоров) по наблюдательным скважинам и отбор из них гидрохимических проб; фиксация объемов сточных растворов, сбрасываемых в поверхностные водоемы и водотоки, и контроль их качества; прослеживание полей

загрязнения скважинными и поверхностными геофизическими методами; опытные инфильтрометрические, воднобалансовые и гидрогеофизические работы в пределах акваторий технических бассейнов; опытная оценка состояния скважин режимной сети.

Література [1, 2, 3, 6, 7]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1, Схематизація геофільтраційних умов

Література [1, 2, 3, 5, 6, 7]

РОЗДІЛ №3

ТЕМА 5. Принципи та методи теоретичного аналізу процесів міграції підземних вод. Аналіз міграційних процесів в типових водоносних горизонтах.

Лекція 6. Принципи та методи теоретичного аналізу процесів міграції підземних вод. Аналіз міграційних процесів в типових водоносних горизонтах (2 год.)

Поняття, що вивчаються: Форми переносу і розсіяння компонентів в підземних водах (конвекція, гідродисперсія, продольна гідродисперсія, дифузійний перенос).

Принципи та методи теоретичного аналізу процесів міграції підземних вод. Особливості аналізу міграційних процесів в типових комплексах гірських порід. Форми переносу і розсіяння компонентів в підземних водах (конвекція, гідродисперсія, продольна гідродисперсія, дифузійний перенос).

Навички, які отримуються: *правильно застосовувати принципи та методи теоретичного аналізу процесів міграції підземних вод.*

Миграция химических компонентов в водоносных пластах осуществляется в рамках конвективных дисперсионных и диффузионных процессов, на которые накладываются процессы физико-химических превращений в подземных водах и взаимодействий с вмещающими горными породами.

Конвекция — механический перенос под действием гидравлического градиента — является основной в водоносных пластах. В физически однородных жидкостях интенсивность и траектории перемещения растворенного вещества при конвекции определяются полем скоростей фильтрации (v) и активной пористостью (трещиноватостью) — n . Для несцементированных разностей пористых (песчаных) пород они укладываются в относительно узкий диапазон $n = 0,3 \div 0,4$; а абсолютные его значения гораздо ниже: $n = 0,0005 \div 0,01$. Следовательно, конвекция в трещиноватых породах, при прочих равных условиях, протекает намного интенсивнее, чем в пористых.

Поскольку скорость перемещения вещества фильтрационным потоком v_d вслед за скоростью фильтрации v осредняется в пределах репрезентативного объема, то конвективный перенос в однородных пластах должен характеризоваться в таком представлении резкой границей раздела между вытесняющей и вытесняемой жидкостями — перемешивания нет, и говорят о поршневом вытеснении одной жидкости другою; при этом для плановой фильтрации (в однородном пласте) двух жидкостей с одинаковой плотностью фронт вытеснения нормален поверхности напластования, а деформация границы раздела растворов в плане полностью определяется структурой фильтрационного потока.

Гравитационная (плотностная) конвекция обусловлена различиями в плотности между исходными пластовыми и техногенными (внедряющими в пласт) растворами. Если

рассматривать фильтрацию однородных смешивающихся жидкостей, то на границе раздела минерализованных (плотностью ρ^0) и пресных (плотностью ρ_0) растворов проявляется дополнительная вертикальная составляющая скорости фильтрации $v_p = k_z \Delta \bar{p}$ (различиями в показателях вязкости растворов пренебрегаем), где $\Delta \bar{p} = (\rho_0 - \rho^0)/\rho^0$ — плотностной градиент; k_z — коэффициент фильтрации в вертикальном направлении. Если исходный относительный перепад напоров по вертикали незначителен в сравнении с плотностным градиентом, то начальная скорость опускания плотных стоков в глубь водоносного горизонта составляет $v_{др} \approx v_p/n$. При поршневом вытеснении пресной воды минерализованным раствором плотностная конвекция способствует деформации фронта вытеснения: происходит более быстрое продвижение тяжелой жидкости по подошве пласта и замедление перемещения границы раздела вблизи кровли — фронт принимает наклонное положение (для легких стоков — картина обратная).

Диффузионный перенос вещества возникает под действием разности химических потенциалов растворов, т. е. при наличии градиента концентрации. Интенсивность процесса определяется градиентным законом Фика и контролируется, при прочих равных условиях, значением коэффициента молекулярной диффузии (D_m). Характерные значения D_m в полностью водонасыщенных горных породах имеют порядок 10^{-5} м²/сут. Скорость чисто молекулярного диффузионного переноса мала, и учитывать ее следует при малых скоростях фильтрации, в первую очередь при оценке массопереноса через слабопроницаемые породы.

Продольная гидродисперсия потока вещества, возникающая вследствие случайного распределения скоростей движения отдельных струек жидкости в порах и трещинах, приводит к появлению на фронте раздела между вытесняющей и вытесняемой жидкостями переходной зоны; характеризуется этот процесс коэффициентом гидродисперсии D_v , который в общем случае является линейной функцией скорости фильтрации: $D_v = \sigma v$, где σ — константа продольной микродисперсии, отражающая геометрию неупорядоченного порового или трещинного пространства горных пород; значения ее коррелируют с размером элементарных составляющих фильтрующей горной породы.

В хорошо проницаемых средах обычно можно вообще пренебречь ролью диффузионного переноса — в сравнении с гидродисперсией, в глинистых породах картина обратная.

Література [1, 2, 3, 4, 7]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1, Форми переносу і розсіювання компонентів підземних водах

Література [1, 2, 3, 4, 7]

ТЕМА 6. Процеси фізико-хімічного перетворення речовин в підземних водах. Міжфазові взаємодії. Сорбція. Іонообмінні процеси. Внутрішньофазові перетворення.

Лекція 7. Процеси фізико-хімічного перетворення речовин в підземних водах. Міжфазові взаємодії. Сорбція. Іонообмінні процеси. Внутрішньофазові перетворення

Поняття, що вивчаються: Міжфазові взаємодії. Сорбція. Іонообмінні процеси. Внутрішньофазові перетворення.

Процеси фізико-хімічного перетворення речовин в підземних водах. Міжфазові взаємодії. Сорбція. Іонообмінні процеси. Внутрішньофазові перетворення.

Навички, які отримуються: вірно розуміти процеси фізико-хімічного перетворення речовин в підземних водах.

Миграция сопровождается процессами физико-химического преобразования вещества в водоносных пластах, которые способны не только контролировать общую интенсивность миграции, но и обуславливать глубокую метаморфизацию исходного состава растворов. При этом выделяются: межфазовые и внутрифазовые процессы.

Межфазовые взаимодействия

Сорбция (адсорбция) — концентрирование вещества из раствора на поверхность. При длительном взаимодействии в статических условиях зависимость между концентрацией компонента в растворе c и на твердой фазе q для данной температуры определяет вид изотерм адсорбции, эмпирические константы которой характеризуют энергию взаимодействия сорбируемых компонентов с минеральным веществом. По форме графиков $q(c)$ выделяют два основных типа изотерм — линейный и нелинейный.

Сорбция из малоконцентрированных растворов подчиняется линейной изотерме Генри:

$$q = K_c C$$

где K_r — безразмерный коэффициент распределения. При больших диапазонах изменений концентрации

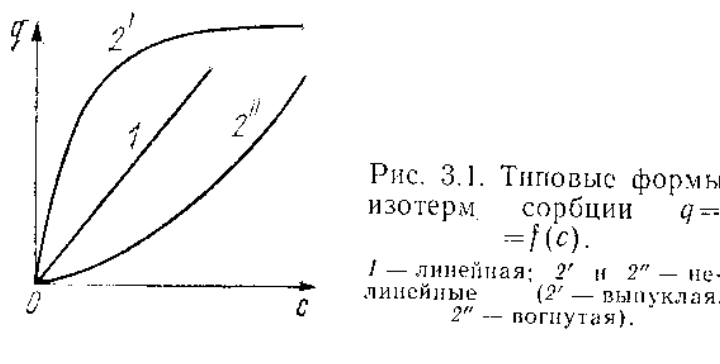
Но общей является нелинейная изотерма Лэнгмюра:

$$q = \frac{K Q_v C}{1 + K C}$$

где (Q_v — полная сорбционная емкость породы;

K — константа, определяющая вид изотермы

(при $K > 0$ она имеет выпуклую форму).



Ионообменные процессы, активизирующиеся при смене физико-химической обстановки в водоносных горизонтах, захватывают обычно катионный состав и способствуют глубокой трансформации качественного состава раствора; при этом общая концентрация элементов может оставаться неизменной. Достаточно высокой ионообменной подвижностью обладают катионы щелочных и щелочноземельных элементов. Поэтому ионообменные процессы влияют прежде всего на макрокомпонентный состав подземных вод, нередко способствуя смене их гидрохимического типа, а также изменению значения рН.

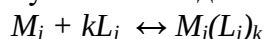
Интерпретация явлений катионного обмена может основываться на фундаментальном законе действующих масс, устанавливающем термодинамическое соотношение между концентрациями катионов в растворе (c_1 и c_2) и на породе (q_1 и q_2):

$$K_{12} = \left(\frac{q_1}{c_1} \right) z_2 \left(\frac{c_2}{q_2} \right) z_1$$

где K_{12} — константа равновесия; z_1 и z_2 — валентности вытесняющего и вытесняемого катионов; все концентрации имеют единицу миллиграмм-эквивалент на литр.

Внутрифазовые превращения

К таковым прежде всего относятся устойчивые заряженные или электронейтральные образования, состоящие из иона металла (комплексобразователя M_i) и иона, группы ионов или электронейтральных молекул (лигандов — L_j). В принятых обозначениях общую формулу комплексного соединения можно представить в виде $M_i(L_j)_k$ (k — координационное число). Простейшие реакции комплексообразования неорганических соединений протекают путем последовательного присоединения к центральному иону лигандов промежуточных соединений:



Деструкция химических соединений — это различные физико-химические превращения, выражающиеся в постепенном распаде (разложении) неустойчивых водорастворенных компонентов мигрирующих растворов. Она может протекать самопроизвольно (например, радиоактивный распад) или обуславливаться воздействием внешних факторов (например, окисление, гидролиз, биологическое разложение

Література [1, 2, 3, 6, 7]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1. Методики міграційних розрахунків

Література [1, 2, 3, 4, 7]

ТЕМА 7. Розрахункові моделі міграції у гомогенних водоносних породах. Розрахункова схема поршневого витіснення. Розрахункова схема одномірної мікродисперсії.

Лекція 8 9. Розрахункові моделі міграції у гомогенних водоносних породах. Розрахункова схема поршневого витіснення. Розрахункова схема одномірної мікродисперсії (2 год.)

Поняття, що вивчаються: просторові форми міграційних потоків.

Розрахункові моделі міграції, що враховують фізико-хімічні перетворення речовини. Рівноважні сорбційні процеси. Особливості опису кінетичних процесів. Просторові форми міграційних потоків.

Навички, які отримуються: вміти розраховувати моделі міграції, що враховують фізико-хімічні перетворення речовини.

В породах, гомогенних по фильтрационным свойствам, миграция описывается в рамках моделей поршневого (чисто конвективного) вытеснения или микродисперсии (конвективно-дисперсионного массопереноса).

Расчетная схема поршневого вытеснения

Эта простейшая схема теории миграции, требует минимальной информации о миграционных параметрах: если ее использование действительно обосновано, то достоверность оценок зависит лишь от качества определения активной пористости.

Для того чтобы определить пространственное положение концентрационного фронта поршневого вытеснения в момент времени t , достаточно построить гидродинамическую сетку движения и, рассчитав скорость фильтрации v вдоль характерных линий тока, найти длины пробега l_0 меченых частиц из выражения

$$l_0 = (-) J_0 \text{ват}$$

Наоборот, можно найти временную координату t_0 фронта поршневого вытеснения, т. е. время его продвижения вдоль траектории меченой частицы на расстояние L :

$$t_0 = n \int_0^L \frac{dl}{v}$$

Базируясь на представленных зависимостях, нетрудно получить основные соотношения для типовых форм фильтрационных потоков. Так, при плоскопараллельной фильтрации в направлении оси x получаем

$$x_0 = \frac{vt}{n}; \quad t_0 = \frac{xn}{v}$$

При нагнетании жидкости в пласт мощностью m через скважину с постоянным расходом Q , т. е. при квазистационарном осесимметричном движении со скоростью $v_r = Q/(2\pi mr)$ (r — радиальная координата), получаем

$$r_0 = \sqrt{\frac{Qt}{\pi mn}}; \quad t_0 = \frac{\pi m r^2 n}{Q}$$

(при $r_c \ll r_0$, где r_c — радиус скважины).

Если первоначальное распределение концентрации не имеет строгой границы раздела, то на основе схемы поршневого вытеснения рассчитывается продвижение отдельных изолиний концентрации

($c_i = \text{const}$).

В сложно возмущенных фильтрационных потоках область конвективного продвижения растворов, поступающих в пласт, ограничивается так называемыми нейтральными линиями тока, положение которых находится из анализа фильтрационной схемы. Так, для простейших форм техногенного воздействия на однородные водоносные пласты могут быть получены строгие аналитические зависимости, связывающие пространственные координаты нейтральных линий тока с гидродинамическими параметрами

Расчетная схема одномерной (продольной) микродисперсии

Если изменения плотности незначительны, а процессами поперечной дисперсии допустимо пренебрегать, то анализ основных закономерностей микродисперсии разумно ограничить рассмотрением простейших одномерных (линейных) миграционных потоков. При неизменной скорости v и постоянных параметрах пористости n и дисперсии D процесс описывается моделью:

$$\frac{ndc}{dt} + \frac{vdc}{dx} = \frac{Dd^2c}{dx^2}$$

При постоянной концентрации ($c|_{x=0} = c_0$) на входной границе и однородном начальном условии ($c|_{t=0} = c^0 = \text{const}$) получаем фундаментальное решение:

где $\gamma = (c - c^0)/(c_0 - c^0)$ — относительная концентрация. При параметре Пекле $Pe = vx/D > 30$ погрешности расчетов по формуле не превышают 10%. Решение легко распространить и на другие граничные условия на основе принципа суперпозиции. В соответствии с решением текущая координата x_0 фронта переноса определяется действительной скоростью фильтрации (v/n). Размер переходной зоны гидродисперсии Δx_n между вытесняемой и вытесняющей жидкостями вблизи точки x_0 :

$$\Delta x_n = x_c - x_{1-c} = \gamma_n (Dt/n)^{1/2} \approx \gamma_n [(D_m/v + \delta)x_0]^{1/2}$$

Где $\gamma_{\Pi} = 4 \operatorname{inferfc}(2\bar{c})$ — коэффициент, зависящий от условно принятых значений концентрации в границах переходной зоны; в частности, $\gamma_{\Pi} = 6,6$ при $0,01 \leq \leq 0,99$.

Отсюда следует, что для однородных пористых пород продольные дисперсионные эффекты в натуральных условиях играют второстепенную роль, и с точки зрения практики вполне приемлема расчетная схема поршневого вытеснения. Для гомогенных трещиноватых пород характерно значительное рассеяние за счет гидродисперсии, а размеры переходной области соизмеримы с масштабом области переноса. Итак, достоверность прогноза будет определяться прежде всего надежностью экспериментальной оценки емкостного параметра n , а для трещиноватых пород необходимы хотя бы ориентировочные оценки параметра δ .

Расчетные модели миграции, учитывающие физико-химические преобразования вещества

В рамках такой дифференциации целесообразно выделить растворов условно простого и сложного составов. Первые содержат активные компоненты, степень и характер участия которых в физико-химических реакциях не зависят от изменения содержания в этих растворах других компонентов, т. е. формально они эквивалентны однокомпонентным системам.

1) Равновесные сорбционные процессы

При однокомпонентной сорбции из раствора по линейному или нелинейному законам и при пренебрежении дисперсными эффектами, прямоугольный фронт переноса, сохраняя свою форму на всем пути миграции, перемещается со скоростью

$$vn = v/(n + \Delta n); \Delta n = \Delta q / \Delta c$$

($\Delta c = c_0 - c^\circ$; $\Delta q = q_0 - q^\circ$; q_0 и q° — концентрации компонентов на породе, равновесные граничной c_0 и начальной c° концентрациями в растворе, $c_0 > c^\circ$). Таким образом, сорбция может быть учтена в расчетных зависимостях для схемы поршневого вытеснения заменой активной пористости (n) на эффективную емкость

$$n_s = n + \Delta n$$

Для линейной изотермы Генри $\Delta n = K_r$, для изотермы Лэнгмюра $\Delta n = Q_v K / [(1 + K c_0)(1 + K c^\circ)]$. Аналогично учитываются сорбционные процессы и в схеме микродисперсии, однако в этом варианте расчетная емкость оказывается зависящей — при нелинейной изотерме — от текущей концентрации:

$$n' = n + f'(c)$$

где $f'(c)$ — производная от функции изотермы сорбции, в частности, для изотермы Лэнгмюра $f' = K Q_v / (1 + K c)^2$. В этом случае влияние сорбции на режим дисперсии определяется типом нелинейности. Так, при выпуклой изотерме (f' — убывающая функция) емкость пород убывает с ростом концентрации. В результате изолинии с повышенными значениями концентрации перемещаются относительно быстрее, и ширина переходной зоны постепенно стабилизируется.

2) Особенности описания кинетических процессов

Наиболее разработанными являются модели однокомпонентных сорбционных процессов, которые приводят к линейному уравнению для интенсивности поглощения вещества из растворов. Для случая одномерного переноса, когда допустимо пренебречь гидродисперсией и молекулярной диффузией, решение фундаментальной задачи имеет вид

$$c = F_2(\eta, \tau)$$

где $\eta = ax/v$; $\tau = a(t - xn/n)/K_r$; $F_2(\eta, \tau)$ — табулированная функция.

Анализ решения показывает, что, несмотря на отсутствие гидродисперсионных эффектов рассеяния, вблизи фронта переноса возникает переходная зона, обусловленная кинетикой сорбционного процесса, интенсивность которого для разноименных точек фронта вытеснения меняется. Решение при $t \geq 10 K_r/a$ имеет асимптотику, близкую к

решению уравнения одномерной микродисперсии, когда параметры n и D заменяются на эффективные коэффициенты

Гидродисперсия приводит к дополнительному рассеянию сорбирующихся компонентов.

Более сложно учитывается кинетика нелинейных ионообменных процессов. Вместе с тем анализ региональных закономерностей миграции разумно основывать на моделях равновесного ионного обмена.

В расчетных моделях микродисперсии деструкция учитывается как необратимая реакция первого порядка, интенсивность которой ω_s определяется уравнением. Если влиянием гидродисперсии можно пренебречь, то в расчетах одномерного переноса используется формула

которая справедлива для участков концентрационной волны $x \leq vt/n$ (при $x > vt/n$ концентрация $c = 0$). В соответствии с этим решением за фронтом переноса концентрация остается постоянной в течение всего периода миграции, причем на фронте поршневого вытеснения $c = e^{-\lambda_p t}$. Отсюда следует очевидный вывод, что при $t \geq (2 \div 3)/\lambda_p$ концентрация на фронте вытеснения близка к фоновой: наступает стационарный режим переноса, при котором границы ореола остаются стабильными (при постоянной входной концентрации). Получается длина переходной зоны $\Delta x_\lambda \approx 4,6 \ v/\lambda_p n$, в пределах которой концентрация падает от $c = 0,99$ до $c = 0,01$.

3) Пространственные формы миграционных потоков

Пространственная (двух- и трехмерная) структура миграционных потоков в гомогенных средах обуславливается тремя главными факторами: 1) развитием в пласте процессов поперечной гидродисперсии, 2) нарушением одномерного характера конвекции, 3) гравитационной дифференциацией растворов в потоке подземных вод. Основные закономерности пространственного рассеяния компонентов могут быть установлены на базе анализа простейших моделей дву- и трехмерной микродисперсии трассера в одномерном фильтрационном потоке неограниченной протяженности.

Нарушения плоскопараллельного характера течения жидкости, вызываемые, в частности, гидродинамическим влиянием самого концентрационного источника, приводят к дополнительному усложнению формы ореолов рассеяния: конвективный перенос вещества происходит по существенно искривленным траекториям, что обеспечивает его механическое продвижение в различных направлениях от источника. При этом дисперсионное рассеяние компонентов может носить подчиненное значение. Так, профильная конвективная составляющая может наводиться процессами плотностной дифференциации растворов в пласте или же непосредственно вертикальной компонентой скорости фильтрации v_z , например, в безнапорных потоках.

Если при этом главные компоненты v_x и v_z скорости фильтрации меняются слабо, то роль такой поперечной конвекции может быть учтена введением подвижной координаты $z' = z - z_0$, где $z_0 = v_z x / v_x$. Тогда из решения получаем

Отсюда ясно, что на центральной оси ореола ($y = 0, z = 0$) снижение концентрации за счет конвективного погружения ореола в глубь пласта становится ощутимым при выполнении условия

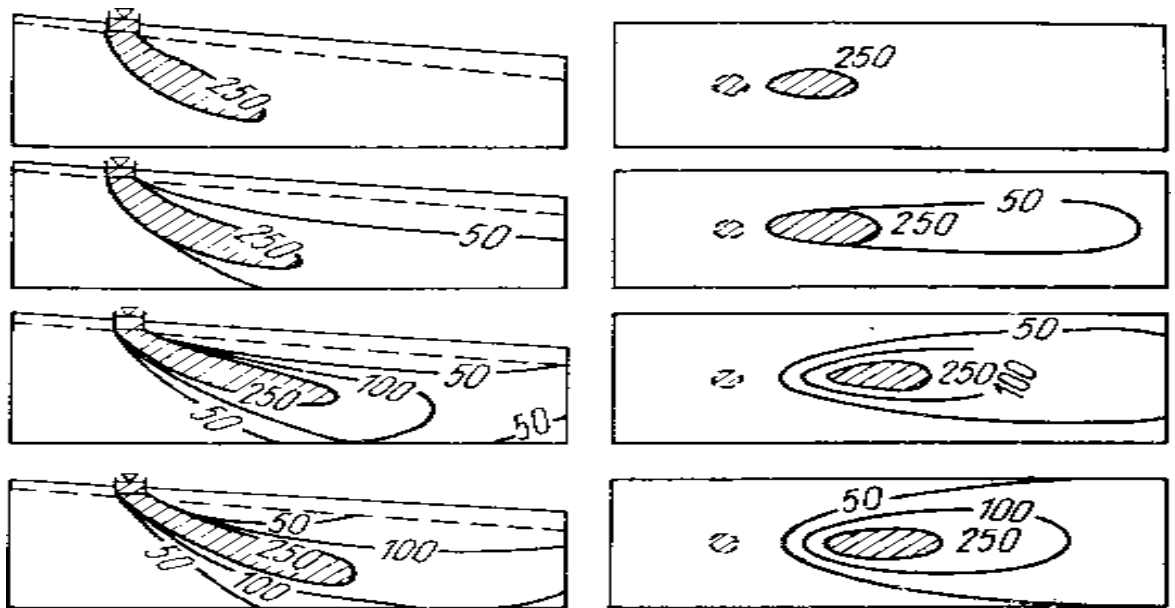


Рис. 3.3. Результаты физического моделирования миграции тяжелых стоков в песчаном лотке. а—г — профильные (по оси ореола) и плановые (в средней плоскости лотка) сечения на расчетные моменты времени ($t = 3,3; 11; 22,1$ и $27-48$ ч); изолинии минерализации в граммах на литр

Література [1, 2, 3, 5, 6]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1. Особливості вивчення показників, що характеризують інтенсивність процесів міграції забруднення в підземних водах

Література [1, 2, 3, 5, 6]

ТЕМА 8. Методика міграційних розрахунків.

Лекція 10. Методика міграційних розрахунків (2 год.)

Поняття, що вивчаються: методики міграційних розрахунків

Загальний підхід до обґрунтування схем розрахунків. Схематизація геофільтраційних умов. Схематизація процесів масопереносу. Методика міграційних розрахунків

Навички, які отримуються: вміти вірно застосовувати методики міграційних розрахунків

Оценка текущей ситуации и долгосрочный прогноз качества подземных вод требуют достаточно ясных представлений о процессе миграции загрязнений в условиях конкретного объекта и о возможных теоретических моделях, описывающих этот процесс. Это вынуждает ориентироваться на заведомо упрощенные математические схемы и делает необходимыми многовариантные разведочные оценки. Упрощение идет обычно по нескольким взаимосвязанным направлениям: ранжирование моделей по значимости того или иного процесса на различных этапах массопереноса; понижение мерности модели посредством пространственной фрагментации массового потока; использование асимптотических приближенных моделей, эффективно учитывающих в обобщенных параметрах либо неоднородность и гетерогенность водоносного комплекса, либо разнородные механизмы физико-химического преобразования стоков.

При построении модели целесообразно придерживаться рангового принципа, т. е. ориентировать ее каждый раз на изучение какого-либо одного элементарного процесса или на определение одного, в крайнем случае, двух миграционных параметров.

Такая модель предполагает, что заложенная в ней информация инвариантна по отношению к типу задачи.

Эффективным путем упрощения модели является пренебрежение по возможности хотя бы одной составляющей дисперсионного переноса. За редкими исключениями, это позволяет свести реальный пространственный массовый поток к двумерному или даже одномерному.

В целом же решающую роль при построении расчетных моделей миграции, на базе которых осуществляются гидрогеохимическое прогнозирование, планирование и интерпретация режимных наблюдений, играет миграционная схематизация процессов и условий массопереноса в водоносных пластах: нередко к ней остается добавить лишь простейшие расчетные оценки, вообще не привлекая сколь-нибудь сложный математический аппарат. При этом можно выделить два этапа: 1) фильтрационная схематизация условий миграции, 2) схематизация процесса массопереноса (собственно миграционная схематизация). Особо подчеркнем, что первый этап в общем случае отнюдь не эквивалентен геофильтрационной схематизации, проводимой применительно к обоснованию моделей геофильтрационного процесса. Кроме того, отметим, что достаточно четкое выделение двух этапов миграционной схематизации оказывается возможным лишь для условий, когда фильтрационная картина не зависит от переноса вещества.

СХЕМАТИЗАЦИЯ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

Рассмотрение данного вопроса разумно начать со схематизации пространственной изменчивости и анизотропии фильтрационных свойств водоносных пластов.

Наибольшие трудности связаны с геофильтрационным обоснованием профильной структуры моделей массопереноса, которая, в отличие от широкого круга задач геофильтрации, должна отражать реальное распределение расхода фильтрационного потока по отдельным, часто измеряемым всего лишь первыми метрами профильным элементам водоносного пласта: миграционный прогноз по осредненным показателям проницаемости пласта может рассматриваться лишь как грубое приближение, не дающее, к тому же, во многих случаях требуемого запаса надежности.

Учет анизотропных свойств приобретает исключительное значение в двух ситуациях: 1) при оценке миграции разноплотностных вод от поверхностных бассейнов, когда в пласте получают развитие процессы гравитационной дифференциации вещества, и 2) при изучении процессов субвертикальной миграции глубинных растворов от подземных бассейнов природного происхождения.

Для поверхностных техногенных бассейнов положение усугубляется и неопределенностью информации об их связи с подземными водами: последняя во многом зависит от параметров характерной приграничной области, причем по своим фильтрационным и миграционным свойствам образования, слагающие эту область, обычно резко отличаются от водоносных пород.

Отсюда необходимость достаточно детального учета пространственно-временных закономерностей изменения фильтрационных свойств этих образований, что часто вынуждает отказываться от приемов схематизации, обычных при геофильтрационных построениях.

При схематизации пространственной структуры фильтрационного потока в задачах геофильтрации широко используется предпосылка Дюпюи.

Целесообразность такого подхода не исключается, хотя и с серьезными ограничениями, и при анализе миграционных процессов: плановая фильтрационная модель позволяет в первом приближении построить сетку движения и оценить осредненные скорости конвективного переноса.

Известно, что форма и размеры в плане зоны заметного гидродинамического влияния источника на подземные воды, а также определяются соотношением фильтрационных потерь из источника загрязнения (Q_0) и удельного расхода регионального фильтрационного потока в пределах области влияния источника (q_e) при заданной характерной длине переноса (L). При этом может быть выделена область с преобладанием радиального характера течения — вблизи источника загрязнения, $L < (0,03 \div 0,05)Q_0/q_e$, и область примерно линейного течения — на достаточном удалении от него ($L > Q_0/q_e$). Также можно наметить два предельных варианта фильтрационных потоков от источника загрязнения: 1) потоки, формирующиеся при фильтрации от источника загрязнения с интенсивностью, превышающей, как минимум, на порядок условный расчетный расход естественного фильтрационного потока ($Q_e = q_e L$), и 2) потоки, образующиеся при интенсивности фильтрации из источника загрязнения, уступающей расчетному расходу транзитного потока хотя бы в несколько раз. В первом случае учет плановой структуры естественного потока может проводиться весьма грубыми способами, а во втором требует гораздо большей детальности.

СХЕМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА

Схематизация влияния массопереноса на расчетную схему фильтрации должна исходить в первую очередь из оценки возможного влияния мигрирующих компонентов на плотность и в меньшей степени вязкость подземных вод.

Круг условий, в которых можно пренебречь изменениями плотности подземных вод, ограничен довольно жесткими рамками, которые, к тому же, трудно конкретизировать: упомянутые пределы сильно зависят от конкретной фильтрационной картины, в первую очередь от градиента потока J и его направленности, а также от профильной фильтрационной анизотропии. В первом приближении для плановых фильтрационных потоков в профильно-изотропных пластах, формирующихся под влиянием тех или иных техногенных возмущений, можно, очевидно, считать пренебрежимо малыми. При сравнительно небольшом превышении этих ориентировочных пределов часто также можно решать фильтрационную задачу обособленно от задачи массопереноса, внося затем коррективы простейшими приближенными приемами: вводятся поправки в расчетные значения напоров подземных вод с учетом локальных значений плотности, подсчитанных по результатам решения задачи массопереноса, после чего, при необходимости, отыскивается решение во втором приближении.

При схематизации физико-химических процессов общие допущения, традиционные для гидродинамической теории миграции, сводятся к следующему: 1) термодинамические условия — априорно заданы, независимо от миграционного процесса; 2) миграция каждого из компонентов рассматривается обособленно, без учета взаимного их влияния — и в растворе, и на минеральной фазе; 3) хотя для пластовых растворов характерно многообразие химических состояний содержащихся в них элементов, все оценки проводятся лишь для превалирующих миграционных форм с известными термодинамическими параметрами.

Из важнейших упрощающих предпосылок по поводу межфазового физико-химического взаимодействия подземных вод с горными породами выделим следующие: 1) пренебрежение кинетикой реакций, 2) аппроксимация зависимостей интенсивности реакций от концентраций соответствующих компонентов изотермами обмена.

Первоочередным аспектом миграционной схематизации структуры потока является сведение реального, чаще всего трехмерного, процесса переноса трассера к двумерным или одномерным моделям, что достигается фрагментированием процесса по пространству и времени. При анализе подобной возможности и путей ее реализации необходимо совокупно учитывать многие факторы, среди которых, наряду с характером фильтрационной картины, основными являются: 1) степень развития поперечной

(планової і профільної) дисперсії; 2) неоднородність (гетерогенність) середовища і 3) характерні відстані і час переносу.

Література [1, 2, 3, 5]

Питання, які виносяться на самостійну роботу:

1. Типізація умов техногенного забруднення підземних вод

Література [1, 2, 3, 5]

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод (изучение режима, химического состава). - М: ВСЕГИН-ГЕО, 1985.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

2. Мироненко В. А. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. / В. А. Мироненко, Е. В. Мольский, В. Г. Румынин // – Л. : Недра, 1988. – 279 с.
3. Питьева К. Е. Гидрогеохимические основы охраны окружающей среды. / К. Е. Питьева // – М. : Мир, 1986.
4. Плотников Н. И. Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. / Н. И. Плотников, С. И. Краевский // – М. : Недра, 1986. - 266 с.

Допоміжна

5. Овчинников Л. Н. Геохимия техногенеза окружающей среды. / Л. Н. Овчинников // – М. : Недра, 1990.
6. Плотников Н. И. Защита окружающей среды при горных предприятиях. / Н. И. Плотников // – М. : Недра, 1985. – 200 с.
7. Гидрогеологические основы охраны подземных вод. В 2-х частях. // – М. : Центр, межд. проект ГКНТ, 1986. – 401 с.
8. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод. / Ж. Фрид // – М. : Недра, 1989. – 304 с.

