

Краткая история развития динамики подземных вод

Динамика подземных вод (ДПВ) — одна из фундаментальных дисциплин гидрогеологии, которая изучает количественные закономерности движения подземных вод в толщах земной коры под влиянием естественных и техногенных факторов, разрабатывает математическую теорию этого движения и рационального управления режимом, балансом, ресурсами и качеством подземных вод.

До середины 1960-х гг. в ДПВ изучался главным образом процесс фильтрации воды в горных породах. Движение рассматривалось в обобщенном виде, при котором не учитывают конкретные скорости движения в порах и трещинах, а геологическую среду рассматривают укрупненно, что дает возможность применить к исследованию фильтрации известные в механике сплошных сред методы и приемы расчета. На этой основе изучают общее количество движущейся воды — фильтрацию воды из водохранилищ и каналов, водоприток к скважинам и т.п.

С середины 1960-х гг. внимание специалистов-гидрогеологов было привлечено к двум сложным формам движения подземных вод в горных породах — процессам инфильтрации и гидрогеохимической миграции. Первый наблюдается в зоне аэрации, характеризуется наличием трехфазной среды скелет породы — вода — воздух и участием в движении парообразной, пленочной, капиллярной и инфильтрационной воды под влиянием градиентов влажности и температур, гидростатического давления, капиллярного потенциала. Такое движение изучается на основе теории тепло-влажноперевода.

Гидрогеохимическая миграция в пористой и трещиноватой средах представляет собой физико-химическую форму движения, при которой наблюдается изменение количества вещества в подземных водах, т. е. массоперенос. Физико-химические процессы обуславливают изменение минерализации и состава подземных вод (сорбция, ионный обмен и др.). Для исследования гидрогеохимической миграции используют методы теории тепло-массоперевода и физико-химической термодинамики необратимых процессов. Такой подход необходим при изучении процессов загрязнения подземных вод, условий формирования водно-солевого режима и баланса подземных вод на орошаемых территориях, проблем формирования подземных вод.

ДПВ четко отделяется от гидромеханики и общей теории фильтрации. В этих дисциплинах разрабатывается математический аппарат для абстрактных расчетных схем, описывающих движение разнообразных флюидов (нефть, газ, вода) в существенно идеализированной среде. Геологические закономерности движения и их гидрогеологическая интерпретация не являются предметом исследования этих научных направлений. В ДПВ

математический аппарат служит только средством решения специальных гидрогеологических задач, а главное содержание этой дисциплины — обоснование и разработка гидрогеологической теории количественного описания закономерностей движения подземных вод и их прогнозирования (расчета) в конкретных гидрогеологических условиях.

На эти основные цели ДПВ указывал в своих работах Г.Н. Каменский, который в 1933 г. впервые выделил ДПВ как специальный раздел гидрогеологии, определил ее содержание, задачи и методы исследований, изложив все это в первых учебниках по ДПВ. Г.Н. Каменский всегда подчеркивал геологическую направленность ДПВ. В «Основах динамики подземных вод» он писал, что основным принципом при изучении движения подземных вод должно быть стремление к наиболее полному отражению в теории конкретных особенностей геологического строения водоносных пластов и режима подземных вод.

Таким образом, по своим задачам, естественным и физическим основам, натурным методам исследований, способам получения и интерпретации информации ДПВ — отрасль гидрогеологии, неразрывно связанная со многими дисциплинами геолого-географического цикла, такими, как структурная и динамическая геология, литология, тектоника, геохимия, гидрология, почвоведение, инженерная геология и др. Геологическое строение и литолого-фациальный состав определяют геологические формы и физические параметры среды, в которой происходит движение подземных вод, их физические и химические свойства, а совместно с физико-географическими факторами — условия питания и расходования, формирования запасов и качества, характер связей подземных вод с наземной гидросферой и атмосферой. Инженерные сооружения также воздействуют на движение подземных вод.

Теоретические представления ДПВ опираются, с одной стороны, на геологические закономерности, свойственные водоносным горизонтам и разделяющим их водоупорным толщам как геологическим телам, а с другой — на физико-математические основы, устанавливающие общие законы движения жидкостей и газов в разнообразных средах. Поэтому ДПВ имеет тесную связь с науками физико-математического цикла — физикой, математикой, гидравликой, гидромеханикой и ее разделами (теория фильтрации, теория массо-теплопереноса), что выражается в использовании при решении гидрогеологических задач общих физических законов, дифференциальных уравнений, математических методов, разработанных в этих науках, для количественного изучения закономерностей движения подземных вод в толщах земной коры.

Использование теории подобия дает возможность установить математическое сходство между многими различными по своей физической сущности процессами:

фильтрацией, диффузией, распространением тепла в твердых средах, движением электрического тока в проводнике, упругой деформацией горных пород под влиянием изменения давления на их кровлю и др. Такое тождество позволяет активно применять в ДПВ для описания конкретных форм движения подземных вод имеющиеся в других науках математические решения, распространять данные единичного расчета на целый класс подобных или аналогичных процессов.

Движение подземных вод в земной коре в настоящее время рассматривается с позиций системного подхода, который используется в геологии, инженерной геологии и других науках. Согласно системному подходу любой гидрогеологический объект или процесс рассматривается как некоторая система, элементы (подсистемы) которой находятся в определенных отношениях между собой и с окружающей средой. Существует иерархия систем, все они взаимосвязаны и взаимодействуют между собой.

Системный подход позволяет установить те свойства и особенности, которыми обладают все системы независимо от их содержания. Это дает возможность исследовать разные системы одними и теми же методами, более четко выявлять принципиальные различия гидрогеологических объектов, устанавливать их соподчиненность, взаимосвязь.

Используя разработанные в общей теории систем принципы оптимального управления системами, можно управлять режимом подземных вод, эксплуатационными запасами и ресурсами гидрогеологических систем. Таким образом расширяется научная база ДПВ, появляются новые методы, которые можно использовать при количественном изучении гидрогеологических объектов.

С позиций системного подхода ДПВ можно определить как научную дисциплину, объектом изучения которой являются гидрогеологические системы, а предметом — количественное исследование, прогноз их свойств, условий формирования и поведения (состояния) под влиянием естественных и техногенных факторов.

Развитие ДПВ связано с развитием наук физико-математического и геологического циклов, а также народного хозяйства в целом, с разработкой минерально-сырьевых ресурсов, так как именно практика ставит перед ДПВ все новые и более сложные задачи количественного прогнозирования изменений гидрогеологических условий под влиянием работы инженерных сооружений, водохозяйственных и других мероприятий.

Как самостоятельная научная гидрогеологическая дисциплина ДПВ оформилась в начале 1930-х гг. Основателем ее считается Г. Н. Каменский, который первым обобщил и применил к решению гидрогеологических задач многое из того, что было разработано к тому времени в теории фильтрации. Он создал теории движения естественных потоков в неоднородных пластах и стационарного подпора грунтовых вод в различных

гидрогеологических условиях, разработал гидродинамические основы изучения режима и баланса подземных вод на основе метода конечных разностей.

Первые фундаментальные разработки в области теории фильтрации относятся к середине XIX в. Они связаны с именами гидравликов А. Дарси, который эмпирически обосновал основной закон фильтрации в пористой среде, и Ж- Дюпюи, применившего этот закон к изучению движения воды в песчаных пластах и к скважинам. В конце XIX — начале XX вв. значительный вклад в теорию фильтрации внесли гидромеханики Н. Е. Жуковский, Ф. Форхгеймер и Ж- Буссинеск, которые предложили дифференциальные уравнения для описания фильтрации реальных жидкостей в пористой среде и применили их к решению задач водопритока к скважинам и изучению грунтовых вод. Дальнейшее развитие математических основ теории фильтрации связано с работами многих ведущих гидромехаников в области гидротехнического (Н.Н. Павловский, В.И. Аравин и С.Н. Нумеров, П.Я. Полубаринова-Кочина и др.) и ирригационного (В.В. Ведерников, С.Ф. Аверьянов, Н. Н. Веригин, А.Я. Олейник и др.) строительства, а также разработки месторождений нефти и газа (Л. С. Лейбензон, И. А. Чарный, В. Н. Щелкачев и др.).

Основные достижения ДПВ за последние годы связаны с трудами гидрогеологов, которые решали сложные проблемы, поставленные развитием геологоразведочных и горных работ, мелиоративным освоением новых земель, сооружением крупных водозаборов и рациональным использованием подземных вод. Отметим труды С.К. Абрамова, Н.Н. Биндемана, Ф.М. Бочевера, В.М. Гольдберга, И.Е. Жернова, В.И. Лялько, В.А. Мироненко, Е.Л. Минкина, И.С. Пашковского, А.Б. Ситникова, В.М. Шестакова, Ф. Форхгеймера, Л. Лукнера, М. Гылыбова, Р. де Уиста, Ж. Фрида, М. Хантуша и др.

Развитие теории и практики ДПВ в 1930—1950-е гг. отражено в учебниках Г.Н. Каменского и А.И. Силина-Бекчурина, в 1960—1970-е гг.— в учебниках В.М. Шестакова, В.А. Мироненко и И.К. Гавич, где показаны тесные связи ДПВ с механикой горных пород. Были изданы практикумы по ДПВ в 1950—1960-е гг. И.В. Гармоновым и И.А. Скабаллановичем, П.П. Климентовым, а в 1970-е гг.— В. М. Шестаковым, И.П. Кравченко и И.С. Пашковским. Из зарубежных трудов по ДПВ следует назвать работы Я. Бэра и др., П. Доменико, Р. Фриза и Д. Черри.

В настоящее время ДПВ обладает современной комплексной методологией, включающей методы геолого-структурного и литолого-фациального анализов, гидрогеологической аналогии, лабораторного изучения движения подземных вод, полевого опробования опытно-фильтрационными и опытно-миграционными работами (ОФР и ОМР), наблюдения за гидродинамическим, гидрогеохимическим и гидрогеотермическим режимами и балансами подземных вод по специальной сети скважин и балансовых

площадок, математического анализа движения подземных вод в горных породах, построенные на использовании аналитических и численных способов расчета, а также математического моделирования гидрогеологических процессов. Расширяется использование вероятностно-статистических методов, информационного анализа, методов оптимизации и теории планирования эксперимента, внедряется системный подход.