

**Аликин Э.А.**

доцент, к. г.-м.н. Пермский  
государственный национальный  
исследовательский университет  
alikin.inggidrogeo@mail.ru

## СТАНОВЛЕНИЕ НОВОГО РАЗДЕЛА НАУКИ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ»

*Изложена необходимость введения в сферу научных исследований нового раздела науки Гидрогеологии – инженерной гидрогеологии. Основной целью ее является обеспечение безаварийной и рациональной эксплуатации и ликвидации геолого-технических комплексов как объектов изучения и управления.*

*Обоснованы и рассмотрены основные методологические принципы: системный подход, математическое моделирование и мониторинг геологической среды.*

**Ключевые слова:** прикладная гидрогеология, техногенное воздействие, иерархическая структура, система, анализ, управление.

С античных времен наука всегда с большим или меньшим успехом решала проблемы человеческой цивилизации, как в гуманитарной, так и материальной плоскостях. По мере углубления и расширения знаний о материальном мире, комплекс естественных наук дифференцировался по принципу знаний: физика, биология, геология, география и математика, обеспечивающая эти науки скалярными величинами (числами) простейших геометрических фигур (линейными, площадными, объемными).

Уже в античное время практический интерес представляли выходы подземных вод (родники) как источники питьевого водоснабжения и лечебного фактора (минеральные воды), которые выявлялись эмпирическим путем. Наличие грунтовых вод (при отсутствии родников) выявлялись с помощью свежесрубленной лозы (ветки с развилкой) человеком, обладающим экзосенсорными способностями (античным гидрогеологом).

Наука «Гидрогеология» возникла в средний период индустриального этапа развития человеческой цивилизации, характеризующегося заменой ручного труда машинном производством. Она сформировалась как самостоятельная отрасль зна-

ний о подземных водах во второй половине XIX века, выделившись из науки геологии. Толчком к её развитию явилась возрастающая потребность в подземных водах как источника питьевого водоснабжения, источника поваренной соли (промышленные воды), курортно-санаторного лечения (минеральные воды), теплоэнергетического ресурса (термальные воды). Знания о формировании и распространении различных типов подземных вод в недрах, их химического состава и физических свойствах, ресурсах, питания и разгрузки позволяли обеспечить как их поиск и разведку, рациональное их использование, так и разработку мероприятий по осушению наземных и подземных горных выработок для добычи различных полезных ископаемых, в основном руд металлов.

Во второй половине XX века, вследствие развития специализированных отраслей производства и жизнеобеспечения, возникла потребность в рациональном их проектировании и эксплуатации. Реализация этих потребностей осуществлялась формированием прикладных разделов науки гидрогеологии (В.М. Шестаков, 2001): разведочная (поиски, разведка и оценка запасов подземных вод), мелиоративная и инженерная гидрогеоло-

гия, разделяющаяся в свою очередь на градо-промышленную и горнопромышленную. При всем уважении к автору, следует отметить следующее.

В прикладные разделы не включены: нефтегазовая гидрогеология (разведочная) и нефтепромысловая гидрогеология.

Их целесообразно объединить в глубинную гидрогеологию, в которую по целевому назначению следует включить разведочную и промысловую.

**Первая подразделяется на:**

- поиски, разведка и оценка запасов технических подземных вод для поддержания пластового давления (ППД) в эксплуатируемых нефтяных залежах;

- поиски, разведка и оценка запасов промышленных подземных вод для извлечения из них ценных компонентов (бром, йод, рубидий, цезий и др.);

- поиски, разведка и оценка эксплуатационной емкости пластов-коллекторов (полигонов) размещения в них вредных жидких отходов.

**Вторая подразделяется на:**

- нефтепромысловую, обеспечивающую приток нефти к эксплуатационным скважинам путем ее поршневого вытеснения закачиваемыми в нефтяной пласт техническими подземными водами;

- жидкоотходную, обеспечивающую размещение ВЖО путем их превентивной закачки через нагнетательные скважины в изолированный пласт-коллектор.

Вызывает недоумение без каких-либо оснований выделение, **во-первых:**

- из прикладных разделов науки гидрогеологии раздела инженерной гидрогеологии, в названии которого отсутствует какая-либо отрасль (разведочная, мелиоративная).

**Во-вторых:**

- почему инженерные знания необходимы для градо-промышленной и горнопромышленной гидрогеологии и не нужны разведочной, мелиоративной и глубинной.

Тем не менее, выделение разделов позволило целенаправленно изучать естественный режим подземных вод, фильтрационные и ёмкостные свойства водовмещающих пород и пород зоны аэрации, схематизировать граничные условия участков недр в плане и разрезе.

Однако «почкование» любой науки при отсутствии общетеоретического базиса объекта научных исследований, прикладных целей и задач, методологии их реализации не обеспечивает существенной оптимизации процессов познания взаимосвязей и закономерностей части и целого, поскольку согласно Л.Ф. Дементьеву (1988):

- при аналитическом подходе не учитывается тот факт, что кроме свойств частей объекта изучения существует еще структура целого, выступающая как совокупность взаимосвязей частей, влияющая как на поведение частей, так и на функционирование целостного объекта;

- при организмическом подходе не учитывается, что свойства целого в определенной степени зависят от свойств частей и их взаимоотношений.

Следовательно, дифференциация науки гидрогеологии на прикладные разделы не способствует методологическому обеспечению решаемых практических задач. Это связано с тем, что гидрогеология как наука формировалась и использовалась для познания условий формирования подземных вод, их взаимовлияния с водовмещающими породами и окружающей средой (атмосферной и поверхностной гидросферой) в рамках естественного (природного) состояния. Формирование прикладной гидрогеологии уточняет и конкретизирует объекты изучения, цели и задачи; формирует и разнообразит методические приемы изучения воздействия отраслевых техногенных объектов на геологическую среду (ГС). Но реальных, конкретных приемов взаимодействия частей и целого и их взаимовлияния выработано не было.

Поэтому к концу XX века усугубились экологические проблемы недропользования: разрушение естественных ландшафтов, связанное с деградацией почв и растительности, загрязнения и истощения запасов и ресурсов подземных вод, нарушения их естественного режима, питания, транзита и разгрузки, активизация экзогенных процессов (ЭКГ), снижения рентабельности эксплуатации объектов недропользования, их экологически несовершенная эксплуатация и ликвидация, возрастания технологических аварий вплоть до затопления объектов недропользования.

В поисках средств, характеризующихся высокой эффективностью научных исследований, наука гидрогеология сменила парадигму на системный подход, основными методологическими принципами которого должны быть:

1. Объекты недропользования, являющиеся участками инженерного воздействия на недра, структура их складывается, прежде всего, из элементов геологического и технического происхождения, которые объединяются специфическим образом. По существу, это геолого-технические комплексы (ГТК). Для обеспечения их функционирования необходимо целенаправленно изменяя естественные условия, сочетая соответствующим образом подобранные процессы, так организовать «естественное», чтобы получить наперед заданные характеристики «искусственного».

2. Моделирование состава и свойств элементов и подсистем при переходе ГТК из модели естественного состояния в модель его функционирования.

3. Мониторинг геологической среды (МГС):
  - для выявления причинно-следственных связей элементов ГТК между собой и объектом недропользования, а также окружающей средой;

- для контроля за технологическими параметрами функционирования ГТК, обеспечивающими выполнение целей и задач его формирования.

**4. Таким образом, основная задача системных исследований – анализ, конструирование и управление функционированием ГТК, которые следует рассматривать как системы.**

Объекты недропользования (ГТК) весьма разнообразны, но в сфере гидрогеологических проблем недропользования наиболее значимыми и сложными являются месторождения различных полезных ископаемых (МПИ) и полигоны размещения вредных жидких отходов (ВЖО). Месторождения различных типов подземных вод (питьевых, технических, минеральных, промышленных, термальных) с разведанными эксплуатационными запасами и полигоны ВЖО с разведанными эксплуатационными ёмкостями пластов-коллекторов всецело находятся в сфере научной проблематики инженерной гидрогеологии.

Практически все разрабатываемые месторождения твердых полезных ископаемых, нефти и газа в той или иной мере являются обводненными: твердых – за счет подземных вод, поверхностных вод и атмосферных осадков; нефти и газа – при разработке нефтяных залежей с использованием поддержания пластового давления (ПДД) возникают проблемы их обводнения и, как следствие, резкое повышение обводненности извлекаемой из эксплуатационных скважин жидкости, что существенно сказывается на снижении рентабельности разработки нефтяных залежей. Кроме того, для ППД в нефтяных залежах необходимо разведать месторождения технических подземных вод с эксплуатационными запасами в соответствии с потребностями недропользователя.

Поэтому разработка твердых полезных ископаемых должна сопровождаться осушением открытых и подземных горных выработок с гидрогеологическими расчетами производительности карьерного или шахтно-рудного водоотлива, гидрохимическими исследованиями формирования химического состава шахтно-рудничных вод, технологией их использования как искусственных промышленных вод в эксплуатационный и постэксплуатационный периоды (Л.С. Рыбникова, 2019).

Весьма серьезные экологические проблемы возникают при ликвидации шахт и рудников с разрушением кровли подземных горных выработок, загрязнением подземных и поверхностных вод, нарушением земной поверхности, ландшафта и в целом формирования неблагоприятной среды для человека, животного и растительного мира. В целом, месторождения твердых полезных ископаемых, нефти и газа находятся преимущественно в сфере комплекса горных наук, но в той или иной мере объектами инженерной гидрогеологии.

Разнообразные отраслевые ГТК: водохозяйственные (водохранилища, системы ирригации – осушения и орошения), инфраструктуры городов и логистики (метро, фундаменты капитальных объектов, различные трубопроводы) находятся в сфере инженерной геологии, но поскольку меняют (нарушают) естественный режим подземных вод зоны активного водообмена, являются объектами инженерной гидрогеологии.

**Из вышеизложенного следует, что все ГТК как системы являются в той или иной мере объектами инженерной гидрогеологии, поскольку подземные воды по отношению к ГТК сопоставимы с кровью по отношению к человеку и животному миру. Их количество, состав и физические свойства зачастую являются определяющими для функционирования ГТК как системы.**

Из предшествующего следует, что специфика ГТК весьма широка, но основная роль принадлежит месторождениям полезных ископаемых, поскольку в экономике России минеральное сырье является доминирующим, а его добыча (технология) сопряжена с существенными геологическими проблемами (Э.А. Аликин, 2022).

Целью инженерно-гидрогеологических исследований является безаварийная эксплуатация ГТК, включающая решение следующих основных задач:

- обоснования видов, объектов и стадийности геологоразведочных и проектно-исследовательских работ, обеспечивающих достоверную инженерную оценку количества извлекаемых запасов минерального сырья или спецификацию и размещение инженерных объектов;
- обоснование численных значений пороговых технологических параметров эксплуатации системы и их соблюдение в процессе эксплуатации ГТК;
- обоснование видов и объемов ликвидационных работ, их последовательности, обеспечивающих нормативные показатели качества подземных и поверхностных вод и ландшафта.

Решение этих задач реализуется методологией, указанной выше и требующей использования следующих методик: изучение объекта научных исследований – ГТК как системы. Решающее значение системный подход придает внутренней организации, структуре системы. Совокупность элементов или подсистем, принадлежащих одному горизонтальному ряду системной иерархии, называется уровнем иерархии. Знание структуры системы – это знание закона, по которому порождаются элементы (подсистемы) и отношения между ними (в пространстве, времени). Структура любой материальной системы выступает как взаимосвязь, взаимодействие элементов и подсистем, вступающих друг с другом в определенные отношения не вообще, а в связи с определенным процессом, с решением конкретной за-

дачи, с определенным способом взаимодействия с окружающей средой (Л.Ф. Дементьев, 1988).

**Основными принципами системного подхода к ГТК как системе, являются:**

1. Использование пяти универсальных подходов («большой пятерки»), применительно к месторождениям подземных вод является (Э.А. Аликин, 2009): таксономия (пространственное положение его в недрах), внутреннее строение (форма, состав и свойства его подсистем и элементов), внешних связей с сопредельными системами (соседними участками недр, поверхностной гидросферой и атмосферой), внутреннего функционирования, обеспечивающего условия формирования запасов подземных вод, генезиса (источника формирования запасов).

2. Иерархичность месторождения как системы: от месторождения в естественных условиях до месторождения в условиях его эксплуатации.

3. Эмерджентным свойством системы являются извлекаемые запасы полезных ископаемых, достоверность которых адекватна степени изученности месторождения.

4. Промежуточные уровни изученности месторождения в рамках геологоразведочных работ рассматриваются как синтез универсальных подходов изучения системы, каждому из которых соответствуют запасы определенной категории.

Изучение формирования ГТК как сложной системы на начальном этапе геологоразведочных работ имеет целью познавательный подход к естественному состоянию геологической подсистемы, имеющей форму природно-естественной целесообразности, в последующем цель – знание о той большой системе, которая возникает при вовлечении ГТК в эксплуатацию, а в последующем и её ликвидацию. Согласно закону «Принципа блокировки» о любом уровне иерархической организации системы можно знать столько, насколько позволяют знания о двух соседних уровнях – более низком и более высоком. Поэтому при разведке и проектировании эксплуатации ГТК для повышения знания о системе на более высоком уровне иерархии (эксплуатации) необходимо составление модели эксплуатации ГТК с обоснованием основных технологических параметров, обеспечивающих безаварийную его эксплуатацию.

Использование системного математического моделирования позволяет создать взаимоувязанную, иерархически организованную совокупность частных моделей ГТК. Ядром системы моделирования является базовая концепция ГТК, включающая изучение во взаимосвязи трех компонентов: геологической, технической и управленческой.

Целью математического моделирования является составление модели безаварийной эксплуатации ГТК как системы. Для этого важно установить не только виды и интенсивность тех-

нологического воздействия (конкретных технологических параметров), но гораздо актуальнее определить причинно-следственные связи их с ответной реакцией геологической компоненты на эти воздействия. При этом необходимо дифференцировать факторы воздействия на: контролируемые, но не регулирующие (их можно измерить, но не изменить), контролируемые и регулирующие (водоотбор при эксплуатации месторождений подземных вод или приемистость нагнетательных скважин при эксплуатации полигонов размещения ВЖО). Они являются параметрами управления эксплуатацией ГТК, поскольку их воздействие вызывает ответную реакцию – понижение уровня подземных вод в эксплуатационных скважинах водозабора или повышения пластового давления в пласте-коллекторе размещения ВЖО. Использование прогнозной модели для дальнейшего применения допускается только после решения эпигнозных задач или промежуточных прогнозных, заключающихся в сопоставлении (калибровке) фактических параметров с расчетным параметром естественного режима или параметром начальной опытно-промышленной эксплуатации ГТК.

В зависимости от специфики цели следует различать прямые и обратные задачи управления достижением цели. В прямой требуется по заданному управлению описать прогнозируемое поведение ГТК как системы по данным мониторинга. В обратной – необходимо найти алгоритм управления, обеспечивающий заданное поведение системы или заданные ее свойства – сохранения численных значений параметров эксплуатации ГТК, не превышающих их критическую (пороговую) величину. Из вышеизложенного следует, что для достижения цели (безаварийной эксплуатации) необходимо решить обратную задачу управления функционированием ГТК. Важнейшим фактором является обоснование численных значений системообразующих технологических параметров, соблюдение которых обеспечивает безаварийную эксплуатацию ГТК. Решение этой задачи является базисным фактором рентабельной разработки ГТК, поскольку позволяет разработать технологический режим функционирования системы.

Поэтому в процессе мониторинга эксплуатации ГТК ведутся систематические наблюдения не за всеми технологическими параметрами, а только за теми, которые в процессе эксплуатации ГТК могут приблизиться к их пороговому значению, увеличивая вероятность возникновения аварийных ситуаций или нарушения природоохранных ограничений. Так, опыт эксплуатации месторождений подземных вод позволил эмпирически установить 2 категории технологических параметров:

- балансовую –  $Sф. \leq Sдоп.$ , где  $Sф.$  и  $Sдоп.$  – фактические и допустимые понижения уровня подземных вод в эксплуатационных скважинах;

- качественную – фактическое содержание нормируемых компонентов в извлекаемых подземных водах не должно превышать пороговых значений для соответствующих типов подземных вод.

При эксплуатации полигонов размещения ВЖО было предложено установить 2 категории технологических параметров (Аликин Э.А., 2016):

- балансовую –  $\Delta Pф. \leq \Delta Pдоп.$ , где  $\Delta Pф.$  – дополнительное повышение давления в кровле пласта-коллектора ПК, обусловленное закачкой в него ВЖО,  $\Delta Pдоп.$  – допустимое повышение давления на подошву регионального водоупора в кровле ПК, обеспечивающего невозможность его гидроразрыва;

- качественную – совместимость ВЖО с водовмещающими породами и пластовыми водами, достигаемую в процессе их водоподготовки для обеспечения стабильности приемистости эксплуатационных скважин.


При выявлении в процессе мониторинга эксплуатации тенденций к приближению численных значений параметров к их пороговому значению, разрабатываются и реализуются превентивные технологические мероприятия по их стабилизации.

Эффективность управления процессом функционирования ГТК зависит не только от достоверности решения прогнозных задач, но и от методов достижения безаварийной эксплуатации и ликвидации ГТК как системы. При такой постановке вопроса на первый план выдвигается мониторинг геологической среды как основной методический прием, обеспечивающий требуемую эффективность ГТК. Его организация (виды наблюдательной

сети и ее размещение, регламент наблюдений и опробования) должны обеспечить получение достоверной информации о реакции геологической среды (геологической компоненты ГТК) на техногенное воздействие. Поскольку временные рамки МГС синхронизированы с процессами эксплуатации и ликвидации ГТК, то анализ наблюдений позволяет установить характер связи: функциональной или вероятностной (корреляционной) и выявить тренды численных значений параметров ГС на технологические параметры функционирования ГТК и заблаговременно принимать управленческие решения по корректировке технологии эксплуатации и ликвидации объекта недропользования. Таким образом, обеспечивается эффективность управления этим процессом.

Данная статья направлена на актуализацию научных исследований гидрогеологической тематики в специализированную науку – инженерную гидрогеологию. Поскольку подземные воды являются основным компонентом ГТК, то экономически эффективная, экологически приемлемая, технологически рациональная их эксплуатация и ликвидация представляется достоянием аргументом становления этой науки.

**Фактически автором дан старт научным разработкам методик реализации конкретных задач, которые в недалеком будущем при активном участии научной общественности доведут методологию инженерной гидрогеологии до уровня, позволяющего обеспечить рациональное формирование ГТК, эффективной и экологически безопасной их эксплуатации и ликвидации.**

Для реализации намеченного, необходимо широкое участие заинтересованных лиц и научных сообществ, на что автор искренне надеется. 

#### Литература

1. Аликин Э.А. Методология изучения месторождений подземных вод на основе системного подхода (Автореферат диссертации кандидата г.-м.н.), Пермь, 2009.
2. Аликин Э.А. Концепция геологического изучения участков недр для захоронения в них вредных жидких отходов (ВЖО) //Разведка и охрана недр/№ 5, 2016, с.62-64.
3. Аликин Э.А. Мониторинг геологической среды – вчера, сегодня, завтра //Разведка и охрана недр/№ 12, 2019, с.37-41.
4. Аликин Э.А. Принципы оптимизации управления эксплуатацией геолого-технических комплексов (ГТК) //Недропользование- XXI век/№ 1, с. 44-50.
5. Дементьев Л.Ф. Системные исследования в нефтегазопромышленной геологии//М. «Недра», 1988.
6. Рыбникова Л.С. Процессы формирования подземных вод в горнодобывающих районах Среднего Урала на постэксплуатационном этапе (Автореферат диссертации доктора г.-м.н.), Москва, 2019.
7. Шестаков В.М. Прикладная гидрогеология// МГУ, 2001.

UDC 566.3.01

E.A. Alikin, Associate Professor, Candidate of Geophysical Sciences Perm State University, alikin.inggidrogeo@mail.ru

## FORMATION OF A NEW SECTION OF SCIENCE «ENGINEERING HYDROGEOLOGY»

**Abstract:** The paper outlines the necessity of introducing a new section of the science of hydrogeology - engineering hydrogeology – into the sphere of scientific research. Its main purpose is to ensure accident-free and rational operation and liquidation of geological and engineering complexes as objects of study and management.

The main methodological principles: system approach, mathematical modeling and monitoring of the geological environment are substantiated and considered.

**Keywords:** applied hydrogeology, anthropogenic impact, hierarchical structure, system, analysis, management.