

КОНЦЕПЦИЯ СТАДИЙНОГО РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАСЕЙНА

¹Матусевич В.М., ¹Ковяткина Л.А.

¹ ГОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38), vyru@mail.ru

В настоящее время усиливается техногенное воздействие на подземную гидросферу. За полувековой период освоения уникальной структуры Западно-Сибирского мегабассейна, ее нефтегазовых месторождений и эксплуатации сопутствующих объектов сформировались и продолжают развиваться природно-техногенные гидрогеологические системы, своеобразный конгломерат природных водоносных систем и технических объектов. Функционирование таких систем носит сложный характер и зависит от многих факторов. В ходе развития система последовательно проходит ряд стадий от внутреннего развития до выхода техногенных процессов на земную поверхность. Техногенные изменения реализуются в виде полей гидрогеологических параметров и других физических полей, существенно отличающихся от природного фона. Последовательное изучение по стадиям развития на основе типизации природно-техногенных систем путем мониторинговых наблюдений позволит разработать критерии комплексной оценки состояния систем и продвинуться в области теории техногенного гидрогеологического поля.

Ключевые слова: подземные воды, гидрогеологическая система, стадии развития, типизация, концепция развития.

THE CONCEPT OF STAGE DEVELOPMENT OF NATURAL AND MAN-MADE SYSTEMS HYDROGEOLOGICAL WEST SIBERIAN MEGABASIN

¹Matusevich V.M., ¹Kovyatkina L.A.

Tyumen state oil and gas university, Tyumen, vyru@mail.ru

At the present time, increasing anthropogenic impact on the underground hydrosphere. Within fifty years of exploiting the unique structure of the West Siberian megabasin, its oil and gas fields development and operation of related objects emerged and continue to evolve natural and man-made hydrogeological system, a kind of conglomerate of natural geological and technical objects. The operation of such systems is complex and depends on many factors. During development, the system moves sequentially through a series of stages from internal development before the release of anthropogenic processes on the earth's surface. Anthropogenic changes are implemented as fields of hydrogeological parameters and other physical fields, significantly different from the natural background. Consistent study of stages of development on the basis of typing, natural and man-made systems by monitoring observations will allow to develop criteria of comprehensive assessment systems and advances in the theory of man-made hydrogeological field.

Keywords: groundwater, hydrogeological system, stage of development, classification, concept of evolution.

На территории Западной Сибири продолжается интенсивное освоение ее ресурсов, начавшееся в середине прошлого века. Добыча нефти, газа, гидроминерального сырья, строительство городов и поселков, огромной протяженности трубопроводов, дорог, развивающаяся промышленность и сельское хозяйство – все это не проходит бесследно для природной среды. Вода, как самый активный и «всюдный» (по В.И. Вернадскому) компонент, реагирует на оказываемые воздействия со стороны хозяйственных объектов. В подземной гидросфере, затронутой техногенезом, формируются и развиваются различные типы природно-техногенных гидрогеологических систем (ПТГГС) с искаженными полями параметров и чуждыми природной обстановке процессами. Их последствия влияют на экологические функции литосферы (ресурсную, геодинамическую, геофизико-

геохимическую), распространяясь с различных глубин до поверхности Земли и в атмосфере, они могут провоцировать кризисные и катастрофические ситуации. Комплексное изучение таких систем в данный момент не проводится или носит эпизодический, чисто научный характер. Действующая государственная система экологического мониторинга по факту не является всеобъемлющей, действует на отдельных участках или функционирует на уровне отдельных подсистем, без их увязки. Комплексное поэтапное изучение ПТГГС позволит более эффективно, с наименьшими «потерями» для подземной гидросферы, и системы в целом, эксплуатировать хозяйственные объекты согласно принципам рационального недропользования и экологической безопасности.

Целью исследования является разработка концептуальных основ поэтапного изучения природно-техногенных гидрогеологических систем на примере Западно-Сибирского мегабассейна. Работа основана на обобщении материалов, полученных авторами лично, опубликованной и фондовой литературы.

Результаты исследования и их обсуждение. Природно-техногенная гидрогеологическая система рассматривается нами как часть (подсистема) литотехнической системы (ЛТС по В.Т. Трофимову и др.) [6], охватывающая часть гидrolитосферы, находящейся под влиянием хозяйственной деятельности человека, где формируется техногенное гидрогеологическое поле и его частные составляющие: гидродинамическая, концентрационная, гидрогеотермическая [2-4].

Природно-техногенная гидрогеологическая система, в дальнейшем именуемая ПТГГС, возникает и формируется в очень краткие промежутки геологического времени, то есть почти мгновенно. Продолжительность «жизни» такой системы определяется большим многообразием факторов, влияющих на ее развитие и дальнейшее функционирование. Период существования такой системы может быть определен по продолжительности эксплуатации ее технической составляющей, например по времени работы водозабора или дренажной системы разрабатываемого месторождения твердых полезных ископаемых. Тем не менее после прекращения деятельности любого технического объекта природная часть системы, на которую оказывалось в разной степени воздействие, не может вернуться в исходное состояние сразу после того, как объект был закрыт (законсервирован) или даже ликвидирован. Продолжается «жизнь» ПТГГС, но в течение какого времени, трудно или даже невозможно предсказать.

Весь период существования ПТГГС с момента ее зарождения можно разделить на несколько этапов - стадий по временным и пространственным критериям, по структуре (строению), свойствам и состоянию (количественным показателям составляющих гидрогеологического поля), характеру и степени негативного влияния техногенного объекта

на геологическую среду и экологическим последствиям. Временные рамки техногенной системы зависят от видов техногенных воздействий и типов строения геологической среды. В данном случае представляется возможным проследить развитие системы по этапам в зависимости от пространственного распределения негативных воздействий и их последствий в геологической среде и на поверхности Земли.

1 стадия – «латентная» (от лат. *latens* - скрытый), стадия «скрытого» внутреннего развития. Охватывает начальный период функционирования ПТГГС, когда техногенные изменения происходят только в объеме эксплуатируемой ГГС (пласта, горизонта подземных вод), все техногенные процессы протекают *in situ*, в объеме той части гидrolитосферы, которая испытывает прямое воздействие со стороны технической подсистемы. Наиболее простым и наглядным примером может служить формирование воронки депрессии в эксплуатируемом водоносном горизонте на водозаборах; загрязнение поглощающего горизонта при утилизации стоков; загрязнение пород и верховодки в зоне аэрации при инфильтрации загрязнений с поверхности, в том числе засоление при орошении и другие.

2 стадия – «метастазии» (метастаз от др.-греч. *Μεταστάσι* - «перемещение, смена положения»), характеризует распространение техногенных процессов на смежные системы (водоносные пласты, горизонты), формирование своеобразных «метастазов», если учитывать преимущественно негативный характер изменений: очагов и зон загрязнения; потоков и ореолов рассеяния загрязняющих веществ; расширение и углубление депрессионных воронок с охватом смежных пластов и горизонтов; привлечение ресурсов вышележащих пластов за счет усиления питания при снижении напоров в эксплуатируемом пласте; возникновение новых путей фильтрации флюидов в крышках и вышележащих горизонтах при проведении гидроразрыва пласта и при нагнетании воды в нефтяные пласты за счет превышения давления относительно начального; распространение загрязнений в буферных горизонтах при захоронении промстоков в недра и другие.

3 стадия – «терминальная» (англ. *terminal* — «конечный»), наступает когда негативные процессы охватывают весь объем подземной гидросферы, распространившись как по площади, так и в разрезе от верхней границы, то есть от поверхности Земли до нижней границы ПТГГС. Нижняя граница ГГС может быть представлена подстилающим водоупором, кристаллическим фундаментом, сложенным непроницаемыми блоками пород, разделенных разломами, исключаящими фильтрацию, «залеченных» нерастворимым цементом. Эта стадия ассоциируется с той степенью заболевания организма человека, когда уже все органы подвержены тем или иным изменениям и процессы приняли практически необратимый характер.

4 стадия – «экстравертная» (лат. extra - вне, снаружи и verito – поворачивать), характеризуется выходом техногенных процессов из геологической во внешнюю среду и развитием процессов, вызывающих негативные экологические последствия. Негативные процессы могут проявляться на поверхности Земли подобно взрыву, вулканическому извержению, «геосоликону». В других случаях, и чаще всего, это происходит не столь бурно, постепенно, аккумулятивным путем. Накопленная энергия системы достигает критического значения, происходит ее сброс (разрядка) в поверхностные оболочки Земли – в окружающую природную среду (реки, озера, атмосферу, биосферу). Таким путем происходит техногенная разгрузка соленых вод и рассолов из заброшенных и законсервированных глубоких скважин любого назначения с разрушенной затрубной цементацией, на территории Западной Сибири (и не только) фиксируются многочисленные грифоны и фонтаны из таких скважин.

5 стадия – «релаксации» (от лат. relaxatio - ослабление, уменьшение), завершающая стадия. Она наступает, когда техническая составляющая системы перестает существовать, т.е. после прекращения эксплуатации объекта или его ликвидации. Тем не менее созданная человеком система продолжает «жить» в геологической среде, постепенно освобождаясь от накопленной негативной энергии, самоочищаясь или восстанавливаясь с помощью разработанных инженерных решений. Вероятно, это самый длительный период существования ПТГГС, соразмеримый с геологическими масштабами времени.

Развитие системы протекает по разным сценариям и в разных временных рамках в зависимости от типа строения природной геологической среды и воздействия на нее «сверху» или «снизу» техногенных объектов. Для Западной Сибири нами выделены различные типы строения геологической среды и ПТГГС [2-4]. Кратко остановимся на сценариях развития некоторых наиболее распространенных, не только в Западной Сибири, природно-техногенных гидрогеологических систем.

Для ПТГГС, выделяемых по типу воздействия «сверху» и «снизу», нами определены приоритетные процессы, различные для областей развития талых и многолетнемерзлых пород (ММП) в условиях Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ). Как известно, талые горные породы распространены преимущественно в южной части ЗСМБ, а ММП – в северной его части, с различным строением мерзлой зоны: с юга на север выделяются области островной, двухслойной и сливающейся реликтовой и современной мерзлоты.

Для южных районов ЗСМБ - области развития талых горных пород, наиболее распространенными ПТГГС являются: водозаборы пресных подземных вод, водозаборы минерализованных вод глубоких горизонтов различного назначения, мелиоративные оросительные и осушительные системы, нефтепромысловые комплексы, транспортные системы, урбанизированные территории городов и поселков, объекты промышленного и

сельскохозяйственного производства. Те же системы получили развитие в зоне ММП за исключением мелиоративных, а наибольшее распространение получили ПТГГС нефтегазовых промыслов.

Водозаборы пресных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения городов и мелких населенных пунктов, промышленных объектов (имеющих собственные водозаборы, т.е. нецентрализованного типа), нефтепромыслов, промышленных предприятий, крупных животноводческих комплексов и другие. Воздействие сверху практически отсутствует при соблюдении норм санитарной охраны и соответствующем контроле. Возможно загрязнение сверху через зону аэрации грунтовых вод и гидравлически связанных с ними нижележащих напорных горизонтов, являющихся источниками водоснабжения, за пределами первого пояса зоны санитарной охраны, т.е. в зоне ограничений. Такой вариант воздействия возможен на территории нефтегазового месторождения в результате порыва трубопровода с нефтью или пластовой водой, если он пересекает зону ограничений.

Влияние снизу обусловлено снижением уровней и напоров (до кровли) при извлечении подземных вод, распространением воронок депрессии на значительные расстояния (до нескольких десятков километров), осушением колодцев, каптирующих вышележащие питающие горизонты, осушением болот, обмелением рек. Примером такого влияния может служить водозабор, снабжающий водой г. Тюмень. Эта ПТГГС функционирует с 70-х годов прошлого века, площадь депрессионной воронки достигла 40 км², динамические уровни, по данным «Тюменьводоканал», снизились на 20-30 и более метров, в некоторых скважинах приблизились к величине допустимого понижения, происходит сезонное или полное осушение колодцев в близлежащих населенных пунктах. Современное состояние отдельных участков ПТГГС этого водозабора соответствует, по нашему представлению, четвертой стадии развития системы.

Водозаборы минерализованных технических вод, а также минеральных лечебных и промышленных вод глубоких горизонтов. На территории Западной Сибири наибольшее распространение получили именно водозаборы технических вод, предназначенные для поддержания пластового давления на нефтепромыслах. Добыча воды ведется из апт-альб-сеноманского и неокомского комплексов, содержащих чаще всего соленые воды и реже рассолы. Порывы трубопроводов, как свидетельствует статистика, случаются часто. При добыче минеральных лечебных вод и их использовании сброс купальной лечебной воды достаточно часто осуществляется на «рельеф», т.е. в озера, старицы, реки и овраги. При этом засоление и загрязнение компонентами происходит не только озерной или речной воды, но и донных осадков, и гидравлически связанных с ними подземных вод. По затрубному пространству скважин со временем начинают циркулировать потоки минерализованных вод,

засоляя верхние горизонты пресных подземных вод. Разгерметизация ликвидированных (после выполнения их функций) глубоких разведочных и других скважин нередко вызывает фонтанирование и загрязнение почвенно-растительного покрова, пород зоны аэрации и загрязнение грунтовых вод сверху. Таким образом, начинается новый цикл развития системы, к примеру апт-альб-сеноманского комплекса, и формирование ПТГГС верхних горизонтов олигоцен-четвертичного комплекса.

Нефтегазовые промыслы. Территории промысловых объектов испытывают целый спектр негативных воздействий как «сверху», так и «снизу», как в зоне развития ММП, так и вне ее. Основными видами воздействий на подземную гидросферу «сверху» являются загрязнения. Шламовые амбары продуктов бурения, склады химикатов, разливы нефти и нефтепродуктов, пластовых вод, просачиваясь с атмосферными осадками, загрязняют грунтовые воды, постепенно распространяясь в нижележащие водоносные горизонты, гидравлически с ними взаимосвязанные. Точечные очаги превращаются в ореолы рассеяния, размеры которых могут достигать десятки и сотни квадратных километров. Такого рода системы развиваются в зоне свободного водообмена и ограничены снизу региональным водоупором.

Первичное воздействие снизу происходит с момента ввода скважины в эксплуатацию. Снижение и повышение пластовых давлений в продуктивном пласте до двух десятков мегапаскалей приводит к перетокам между смежными пластами по естественным каналам и затрубному пространству разрушенной агрессивными водами цементной защиты. Потоки пластовых вод и нефти могут достигать горизонтов пресных вод питьевого качества и изливаться на поверхность в виде грифонов, загрязняя почвы и грунтовые воды сверху, поверхностные водотоки и водоемы. После выработки извлекаемых запасов нефти в пласте скважина может быть переоборудована для нагнетания подземных вод для целей ППД в другие пласты или поглощающие горизонты при утилизации сточных вод либо консервируется на неопределенное время, пополняя фонд потенциально аварийных скважин.

В зоне развития многолетнемерзлых пород (ММП) природно-техногенные ГГС, формирующиеся по принципу воздействия «сверху», размещаются вблизи поверхности и связаны с растеплением ММП и загрязнением в пределах олигоцен-четвертичного комплекса. В районах сплошного развития мерзлоты эти процессы развиваются в надмерзлотном горизонте, в более южных районах загрязнения с поверхности могут проникать в подмерзлотные горизонты, а в области островного развития ММП – загрязнения через «окна» талых пород могут проникать до тавдинских глин регионального водоупора. Влияние «снизу», главным образом, связано с изъятием углеводородов и подземных вод из продуктивных пластов и утилизацией стоков в недра.

Возможные варианты развития ПТГГС в зоне ММП связаны с геологической средой селитебных и промышленных зон, полигонов твердых бытовых и промышленных отходов, водозаборов питьевого и технического назначения. С другой стороны - ПТГГС формируются под влиянием глубинного техногенеза на нефтегазовых месторождениях, охватывающего изначально продуктивные газовые и нефтяные горизонты мела и юры и распространяющегося впоследствии на вышележащие толщи. Кроме того, по мере накопления извлекаемых попутных вод, промышленных и бытовых стоков, нефтегазовым промыслам сопутствуют полигоны утилизации сточных вод в поглощающие горизонты аптальб-сеноманского комплекса.

Отличительной чертой техногенеза в первом случае является изменение термического режима геологической среды, происходит деградация мерзлоты с поверхности, изменяются условия питания водоносных горизонтов за счет атмосферных осадков и поверхностных вод, снижается степень защищенности подземных вод от поверхностных загрязнений. Во втором случае также происходит: деградация мерзлоты, вокруг стволов скважин формируются таликовые зоны – новые пути циркуляции флюидов; колоссальное перераспределение давлений и напоров не только в продуктивных пластах, но и в смежных; изменение ионно-солевого состава и загрязнение подземных вод при нагнетании воды и различных химических агентов для увеличения нефтеотдачи пластов. При этом изменяются строение пустотного пространства пород, их фильтрационно-емкостные свойства, гидродинамические параметры и структура потока, что особенно контрастно проявляется при проведении гидроразрыва пласта (ГРП).

Захоронение промстоков в недра приводит к росту пластовых давлений, соответственно - к повышению напоров и уровней, растеканию по пласту в радиусе на сотни и тысячи метров техногенных флюидов [1], загрязняющих поглощающий горизонт. Во всех случаях с различной периодичностью проявляется влияние снизу через негерметичное затрубное пространство добывающих, нагнетательных, поглощающих скважин, и сверху - при аварийных ситуациях - происходит загрязнение пород зоны аэрации и подземных вод, содержащих воды питьевого качества, что особенно опасно.

Заключение. Последовательное и комплексное изучение ПТГГС на разных стадиях их развития необходимо и возможно путем мониторинговых исследований. Наблюдения такого рода помогут объективному познанию динамически развивающихся систем, каковыми являются природно-техногенные гидрогеологические системы, будут способствовать разработке гидрогеоэкологических оценочных критериев состояния этих систем, позволят продвинуться в создании теории техногенного гидрогеологического поля Земли.

Список литературы

1. Матусевич В.М., Курчиков А.Р., Ковяткина Л.А. Актуальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии Западно-Сибирского мегабассейна : материалы Всероссийской научной конференции «Современная гидрогеология нефти и газа. Фундаментальные и прикладные вопросы». - М. : ГЕОС, 2010. - С. 55-61.
2. Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. Техногенное поле – главный фактор формирования геологической среды // Известия вузов. Нефть и газ. – 2012. - № 3. - С. 6-13.
3. Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. Техногенное гидрогеологическое поле как отражение современного состояния геологической среды : материалы XX Всероссийского Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 2012. - С. 111-116.
4. Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. Техногенное поле и его взаимодействие с физическими полями Земли // Фундаментальные исследования. – 2013. - № 6 (2). - С. 402-406.
5. Мелиорация в России (краткая историческая справка) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/3368.htm/>.
6. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. - М. : ЗАО «Геоинформарк», 2002. - 415 с.

Рецензенты:

Воробьева С.В., д.т.н., профессор кафедры промышленной экологии Тюменского государственного нефтегазового университета, г. Тюмень;

Корнев В.А., д.т.н., профессор кафедры прикладной геофизики Тюменского государственного нефтегазового университета, г. Тюмень.