Особенности кольтматационного осадкообразования в околоскважинной водонасыщенной среде

Цымбалов А.А.

ООО Группа компаний «Архимед», Саратов, Россия, E-mail: arhimed64@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Работа посвящена явлению кольтматации околоскважинных зон источников подземных вод. Обоснованна актуальность глубокого изучения кольтматации. Не соблюдение профилактических мер по устранению кольтматации водозаборных скважин в России приводит к ежегодному экономическому ущербу в 2 млрд. рублей. Рассмотрены стадии формирования кольтматационного осадка. Указаны численные значения прочности консистенции осадка. Работа выполнена в рамках Программы НИР ООО «Архимед» Арх. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольтматации околоскважинной среды и разработка методов декольтматации водопропускных устройств».

Features of colmatation sedimentation in the near-well water-saturated environment

Tsymbalov A. A.

LLC Group of companies «Archimedes», Saratov, Russia, E-mail: arhimed64@mail.ru

ABSTRACT: The Paper is devoted to the phenomenon of colmatation of near-well zones of underground water sources. The relevance of a deep study of colmatation is proved. Failure to comply with preventive measures to eliminate colmatation of water intake wells in Russia leads to an annual economic loss of 2 billion rubles. The stages of formation of colmatation sediment are considered. Numerical values of the strength of the sediment consistency are specified. The work was carried out within the framework of the research Program of LLC "Archimedes" Arh. № TER -R 642012-0001.000 "Research of the processes of colmatation of the near-well environment and development of methods for de-colmatation of culverts".

ВВЕДЕНИЕ

Явление кольтматации водозаборных скважин до настоящего времени считается одной из главных проблем снижающих работоспособность систем городского и сельского водоснабжения из подземных вод. Кольтматация скважин на воду при не соблюдении профилактических мер по ее устранению приводит в РФ к ежегодному экономическому ущербу в 2 млрд. рублей [5].

Отсутствие теоретических основ и экспериментальных исследований по формированию кольтматации в системе «пласт-скважина» не позволяет понять и вскрыть ее причины. Такая ситуация отражается на разработке эффективных инженерно-технических решений по декольтматации водозаборных скважин и создании методических приемов по ведению специальных ремонтно-восстановительных работ [7].

Знание генезиса накопления осадка в водозаборных скважинах позволит глубже изучить физический процесс кольтматации и декольтматации околоскважинных зон. Актуальность проблемы кольтматации водозаборных скважин в настоящее время состоит в том, что водобеспеченность России является одной из стратегических задач национального развития нашего государства в условиях применения к нашей стране международных экономических санкций со стороны США и стран ЕС [6].

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ КОЛЬМАТАНТА В ТВЕРДУЮ СТРУКТУРУ

Осадок кольтматанта в околоскважинной водонасыщенной среде будем считать элементом геофизической среды, накопление которого в условиях термодинамических и физико-химических процессов способно развиваться по механизму образования осадочных пород. Поэтому под осадком сформированным в поровых каналах околоскважинной зоны водозаборной скважины будет понимать накопление в них вещества (кольтматанта) основанного на принципах дифференциации и интеграции осадочного материала.

Кольтматационный осадок в водонасыщенной системе «пласт-скважина» образуется под влиянием механических, химических, физико-химических, биологических процессов в виде фазовых переходов на границе раствор-осадок с выделением твердого осадка из растворенных и газообразных веществ. Механизм образования кольтматационного осадка представляется автором в данном материале в виде нескольких стадий по превращению накопленного осадка в твердую структуру горной породы:

1. Первая стадия – мобилизация вещества.
2. Вторая стадия – перенос (миграция) вещества.

3. Третья стадия – накопление или осаждение вещества.
4. Четвертая стадия – преобразование рыхлого осадка в полутвердое состояние.
5. Пятая стадия – преобразование полутвердого осадка в твердое состояние.
6. Шестая стадия – преобразование твердого осадка в сверхтвердое состояние.

Первая стадия (мобилизация вещества) относится в рассматриваемой части разреза земной коры в зоне гипергенеза, где наблюдаются инфильтрация природных вод под действием гравитации, которые далее сосредотачиваются в подземных водоносных комплексах, имеющих гидравлическую связь с природными водами поверхностных водоемов и водотоков. Характерной особенностью зоны гипергенеза является природная вода, выступающая в роли агента переноса вещества. На изменение химического состава воды влияют:

- а) геохимические и металлогенные особенности геологических формаций;
- б) гидрогеохимические, физико-химические и биогенные процессы;
- в) антропогенная нагрузка окружающей среды.

Химические компоненты поступают в природные воды зоны гипергенеза из атмосферы, горных пород, почв, растительного покрова в процессе фильтрации. Специалисты ВСЕГЕИ Е.Е. Белякова, А.В. Зуев, Н.П. Никитина и др. [1], осуществляющие гидрогеохимические исследования зоны гипергенеза, отмечают: «в условиях зоны гипергенеза приходится иметь дело с весьма сложным, не поддающимся строгому физико-химическому обоснованию характером взаимосвязей между минеральными комплексами пород, руд и химическим составом контактирующих с ними природных вод».

Первый этап создает начальные условия возникновения исходных компонентов для зарождения осадка и производит подготовку вещества к его дальнейшему переносу и осаждению осадка.

Вторая стадия – перенос (миграция) вещества. С миграцией (транспортированием) подземных вод будем связывать процессы перемещения компонентов природных подземных вод под действием гравитации в фильтрационных порах околоскважинных участков системы «пласт-скважина» и ускоренного гидродинамического воздействия в зоне влияния водозабора, связанное с работой водозаборного устройства (режим эксплуатации скважины).

На механизм миграционного процесса околоскважинных зон водозаборных скважин будет влиять тип коллектора подземных вод, что определяет емкостные (массообменные) и

фильтрационные свойства водовмещающих пород-коллекторов и экранирующих образований (обсыпка, ячейка фильтрационной сетки, форма сечения разреза фильтрационного канала и др.). Такими литотипами могут быть [2]:

- 1) пористые, зернистые песчаные породы;
- 2) пористые породы глинистого состава;
- 3) трещиноватые скальные (магматические и сильно метаморфизованные осадочные) породы с малой пористостью;
- 4) пористые гравийно-галечные отложения;
- 5) трещиновато-пористые (сцементированные терригенно-осадочные и карбонатные) породы;
- 6) переслаивающиеся породы (песчаник, глина) при доминировании фильтрации вдоль напластования;
- 7) трещинно-жильные и трещинно-карстовые породы с неоднородной проницаемостью.

Миграция веществ в водонасыщенной среде околоскважинных зон водозаборных скважин зависит от типизации условий водозабора из подземных вод: 1) водозаборы инфильтрационные, установленные вблизи природных водоемов (пруд, река, озеро, море); 2) водозаборы с искусственным пополнением запасов подземных вод из открытого источника; 3) водозаборы из грунтовых потоков, имеющие ограничение подпитывающих вод; 4) водозаборы субнапорных горизонтов, имеющих связь эксплуатационных вод с приповерхностными грунтовыми водами; 5) водозаборы напорных глубокозалегающих горизонтов, не имеющих связь с грунтовыми водами.

Третья стадия – накопление или осаждение вещества. Данная стадия характеризует формирование образовавшегося осадка системы «пласт-скважина», поэтому в околоскважинной зоне происходит коагуляция, сорбция, десорбция, солеотложение, биообрастание.

Образовавшийся осадочный материал не остается на месте. Под воздействием внешних сил он перемещается и накапливается в порах околоскважинных участков системы «пласт-скважина».

Активными сорбентами в условиях гипергенеза являются гумусовые и глинистые вещества, гидроокислы железа, алюминия, марганца, кремневые кислоты и др. Гидроокислы железа из водного раствора могут поглощать то катионогенные, то анионогенные элементы. Глинистые вещества сорбируют из раствора никель, цинк, кобальт, рубидий, цезий и др. Наблюдаются процессы обратной адсорбции, т.е. сорбированные ионы при изменении состава подземной воды легко вновь переходят в раствор (десорбция). Десорбция приводит к накоплению концентраций металлов в воде, а анионогенные

элементы необратимо аккумулируются в коллоидных окислах железа (хемосорбция).

Таким образом, осаждение вещества происходит за счет того, что растворенные и газообразные вещества переходят в твердую фазу в результате химических и биогенных процессов

Четвертая стадия – преобразование рыхлого осадка в полутвердое состояние. Предшествовавшие три стадии дают основания к получению рыхлого осадка в околоскважинной зоне водозаборной скважины. Рыхлый осадок представляет совокупность устойчивых соединений новообразованных агрегатов и природных цементообразующих компонентов.

Природные подземные воды в околоскважинных зонах имеют высокомолекулярные соединения, которые в растворах при определенных условиях переходят в особое состояние (золь-гель) начинающее обладать свойствами твердого тела. Данный процесс твердообразования дисперсной системы называется гелеобразованием. Заметим, что процесс перехода золь-гель и гель-золь являются обратимыми. На золь-гелеобразование влияют состав раствора, его концентрация, размер дисперсных частиц, температура, давление, активизация раствора к внешним воздействиям. От численных величин указанных факторов зависит тиксотропия дисперсной системы золь-гель, отражающая консистенцию твердообразования в виде изменения прочности физико-механических свойств кольматационного осадка. Отметим, что в четвертом этапе прочность кольматационного осадка по напряжению на разрыв при гелеобразной консистенции составляет $\sigma_p \ll 0,1$ МПа, при пастообразной консистенции - $\sigma_p = (0,1-0,5)$ МПа, полутвердой консистенции - $\sigma_p = (0,5-5,0)$ МПа [4].

Пятая стадия – преобразование полутвердого осадка в твердое состояние. На данной стадии в дисперсной системе гелеобразования присутствуют цементообразующие элементы и примеси. Имея цементные соединения, золь переходит в гель уже с ориентированными структурированными связями, которые постоянно упрочняются. Околоскважинная зона рыхлых пород водозаборной скважины имеет ряд особенностей, которые выражаются в металлическом каркасе трубы фильтра, металлической сетке фильтра, гранулированной обсыпке наружной части фильтра, зерновой структуре водозаборного пласта.

Ускоренному накоплению цементного геля в околоскважинной зоне способствует наличие глин, аргиллитов, алевролитов в геологическом разрезе водозаборной скважины. Искусственному росту сшивания минеральных зерен гра-

нулированной обсыпки и песка водоносного пласта с цементирующими структурами способствуют химические компоненты, выступающие в роле примесей, такие как гидроокислы железа, карбонаты, глинистые минералы, органика, соли и др.

Пятая стадия изменяет физико-механические свойства кольматационного осадка в зависимости от консистенции до твердого состояния и имеет напряжение прочности на разрыв $\sigma_p = (5,0-10,0)$ МПа.

Шестая стадия – преобразование твердого осадка в сверхтвердое состояние будет наблюдаться за счет консолидации вещества.

Характерными параметрами этой стадии являются: температура, давление, временной интервал их воздействия, скорость накопления осадка и его аэрируемость. Скорость накопления осадка в околоскважинных зонах водозаборных скважин для геологических комплексов Саратовской области на основании практики ООО ГК «Архимед» имеет интервалы $v = (5-20)$ мм/год. При повышенной минерализации подземных вод водоносного горизонта скорость накопления осадка может быть $v > 20$ мм/год.

Шестая стадия по преобразованию консистенции твердого осадка в сверхтвердое состояние имеет напряжение прочности на разрыв $\sigma_p > 10,0$ МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании представленного материала можно сделать выводы:

1. Формирование кольматационного осадка в околоскважинных водонасыщенных средах представляет сложный природный процесс, наблюдающийся при определенных термодинамических и физико-химических условиях в отдельной части земной поверхности.
2. Предложенная автором схема превращения накопленного осадка кольматанта в горную породу имеет шесть стадий.
3. Физико-механические свойства кольматационного осадка могут изменяться и иметь следующие значения в зависимости от консистенции: гелеобразное состояние - $\sigma_p \ll 0,1$ МПа, пастообразное состояние - $\sigma_p = (0,1-0,5)$ МПа, полутвердое состояние - $\sigma_p = (0,5-5,0)$ МПа, твердое состояние $\sigma_p = (5,0-10,0)$ МПа, сверхтвердое состояние $\sigma_p < 10,0$ МПа.
4. На основе практики ООО ГК «Архимед» скорость накопления осадка в околоскважинных зонах водозаборных скважин для геологических комплексов Саратовской области находится в интервалах $v = (5-20)$ мм/год. Для повышенной минерализации подземных вод во-

доносного горизонта скорость накопления осадка может составить $v > 20$ мм/год.

Работа выполнена в рамках Программы НИР ООО «Архимед» Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» - «е»; разд.1, разд.2.» [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрогеохимические исследования (Зона гипергенеза): Принципы и методы оценки рудоносности геологических формаций / Е.Е. Белякова, А.В. Зусва, Н.П. Никитина [и др.].-Л.: Недра, 1985.-252с.
2. Опыт-миграционные работы на месторождениях питьевых вод: методические рекомендации/ В.А.Мироненко, В.Г.Румынин, Б.В.Боревский [и др.].-М.: ГИДЕК, 1998.-130с.
3. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А.Цымбалов.-М.2014-2020.-Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения 30.03.2020).
4. Цымбалов А.А. Деформируемость образцов закольматированных зон низкодебитных скважин / А.А.Цымбалов // Булатовские чтения: сб. ст. II межд. науч.-практ. конф., посвящ. памяти А.И. Бу-

латова (г.Краснодар, 31 марта 2018 г.) в 7 т. Разработка нефтяных и газовых месторождений. Т. 2 в 2 ч. Ч. 2. -Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2018.-С.202-205.

5. Цымбалов А.А. Межремонтный период регенерации водозаборных скважин / А.А.Цымбалов // Водоснабжение и санитарная техника.-2017.-№10.-С.20-25.

6. Цымбалов А.А. Перспектива внедрения технологии ВИГДОС-СИЦА в модель устойчивого развития региона / А.А.Цымбалов // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных районах: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (г. Пермь, 2-4 апреля 2019 г.). Вып.21.- Пермь: ПГНИУ, 2019. - С. 139-142.

7. Цымбалов А.А. Формирование закольматированных зон в околоскважинной водонасыщенной среде [Электронный ресурс] / А.А.Цымбалов // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГТ СО РАН по материалам III всерос. науч. конф. с межд. уч.(г.Чита, 20-25 августа 2018г.).-Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018.-С.198-200. Режим доступа URL: http://inrec.sbras.ru/IIIconfWR2018/assets/гот_сб_окон.pdf (дата обращения 20.03.2020).