

УДК 624.131.2

В. Л. МОЛЯРЕНКО

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СЛОЖЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА КОЛЬМАТАЦИИ

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь,
molyarenko-vova@bk.ru*

В данной статье приведены результаты анализа процесса кольматации, а также влияние состава и сложения песчаных пород на эффективность смыва мельчайших частиц в поры песчаных пород.

Кольматация – это смыв мельчайших глинистых и пылеватых частиц в поры и небольшие трещины пород в целях уменьшения их фильтрационной способности. Термин «кольматация» используется в настоящее время в гидротехнике, мелиорации, гидрогеологии, грунтоведении и инженерной геологии. Наряду с термином кольматация употребляется и термин «заиление». При этом выделяется поверхностное и внутреннее заиление. Внутреннее заиление – процесс заполнения пор породы тонкими частицами, а поверхностное определяет накопление наносов на поверхности. В результате действия этих процессов в совокупности происходит уменьшение фильтрационной способности породы.

Наиболее четко термин кольматация сформулирован Г.А. Куприной и определяется как – «процесс заполнения порового пространства песка или любого другого грунта, в том числе и суглинка, более мелкими пылевыми и глинистыми частицами, находящимися во взвешенном состоянии в фильтрующейся воде, результатом которого является уменьшение активной пористости грунтов и резкое снижение фильтрации».

Процесс заиления – это отличный от кольматации процесс, сопровождающийся накоплением взвеси и образованием наилка. Кольматация и заиливание могут протекать как в естественных, так и в искусственных условиях. При снижении фильтрационных потерь процессу кольматации принадлежит решающая роль, так как свежесаженный рыхлый слой наилка на поверхности не может служить достаточно эффективной противofильтрационной защитой подстилающих водопроницаемых пород.

Процесс кольматации широко распространен в природе. В естественных условиях кольматация пород чаще всего протекает под влиянием аллювиальных, делювиальных и пролювиальных процессов. Во время паводков фильтрация несущей большое количество взвешенных наносов воды в берега и дно рек и других водоемов приводит к кольматации рыхлых и скальных пород. Процесс кольматации значительно активизируется при подпоре воды в реках в результате строительства плотин. Является более распространенным процесс

поверхностного заиливания пород. Он широко развивается при спаде паводка. Во время паводков фильтрация воды в берега и дно происходит при значительно больших градиентах, чем движение воды в реку при спаде паводков и в межень, поэтому раскольматирование пород под влиянием обратных фильтрационных токов не происходит.

Природная кольматация песчаных грунтов широко развита в Каракумах по границе песков с предгорной такырной равниной, где она протекает под действием селей, доходящих по естественным водотокам. Естественная кольматация отмечается также в каналах, водоемах, водохранилищах и других сооружениях.

Природная кольматация является длительным и многолетним процессом, зависящим от случайного сочетания природных факторов. В зависимости от характера кольматируемых пород и кольматантов, а также от физико-географической и геологической обстановки местности кольматация протекает с различной интенсивностью и на различную глубину. Во всех случаях процесс естественной кольматации приводит к значительному уменьшению фильтрационной способности песков. Горизонты закольматированных песков служат водоупорами.

Изучение процесса кольматации имеет большое значение во многих областях народного хозяйства при решении задач, связанных с фильтрацией. Этот процесс используется в гидротехнике, технологии очистки воды и других веществ, а также в буровом деле. Кольматация проявляется при строительстве мелиоративных, гидротехнических, санитарно-технических и других сооружений, а также при очистке сточных вод, в песчаных фильтрах на водоочистительных станциях. В процессе эксплуатации дренажа часто наблюдается постепенное снижение общего расхода воды в дренажных системах за счет кольматации фильтрующих пород и обратных фильтров, что вызывает ненормальности в работе дренажей и выход их из строя.

Изучение процесса кольматации имеет важное значение при использовании подземных вод для нужд водоснабжения различного назначения. Скважины, основанные на эксплуатации подземных вод, обычно относятся к рыхлым гравелисто-галечниковым, песчаным и скальным трещиноватым породам. Под влиянием кольматации фильтров и прилегающих к фильтру пород наблюдается снижение дебита скважин. Кольматация фильтров различного рода дренажей и эксплуатационных скважин требует специальных мер по очистке фильтров. В осушительных каналах, водопоглощающих колодцах, водозаборных скважинах кольматация является негативным явлением.

За счет того, что в процессе кольматации скорость фильтрации воды снижается в десятки, сотни и даже более раз, кольматация может служить эффективным средством борьбы с потерями воды при сооружении каналов, водохранилищ, земляных плотин и, конечно, с притоками воды в строительные котлованы. Таким образом, кольматация является эффективным противofильтрационным средством.

Кольматация песков представляет собой сложный процесс, при котором кроме механического поглощения песками твердых частиц из фильтрующейся суспензии проявляется поверхностное взаимодействие между песчаными и глинистыми частицами. М.М. Филатов в 1936 г. высказал предположение о наличии адсорбционного взаимодействия между кварцевыми зернами и глинистыми частицами в водной среде. Изучая процесс ортоперикинетической коагуляции, он отметил, что кривые поглощения глинистых частиц кварцевым песком соответствуют изотерме адсорбции Лэнгмюра.

Твердые взвешенные частицы глинистой суспензии могут механически задерживаться в порах песчаной породы, а также вступать в физико-химическое взаимодействие со скелетом фильтрующего грунта и друг с другом с образованием коагуляционных связей. В процессе фильтрации глинистые частицы, обладая зарядом, весом, сольватными оболочками, становятся объектом действия различных сил. Поглощение суспензий происходит в пустотах грунта не только посредством простого их заиливания, но главным образом в связи с взаимной адсорбцией гранулометрических элементов, составляющих дисперсную фазу.

Проявление в процессе кольматации физического и механического поглощения глинистых частиц песком было доказано Е.М. Сергеевым. В его опытах суспензии, приготовленные из монтмориллонитовой и каолиновой глины и моренного суглинка концентрацией от 0,001 до 0,1 %, пропускались через широкие стеклянные трубки, наполненные песком различной крупности. Все первые порции фильтрата, просачивающегося через песок, были совершенно чистыми, без всяких признаков мути, которая проявлялась лишь после определенного времени, причем концентрация фильтрата постепенно приближалась к первоначальной. Количество очищенного фильтрата зависело от дисперсности песка, толщины его слоя и концентрации суспензий. Полное очищение суспензии от содержащихся в ней коллоидных и глинистых частиц в начальный момент ее фильтрации через песок объясняется усиленной адсорбцией глинистых частиц на поверхности песчинок в результате действия поверхностных молекулярных сил. Когда эти силы исчерпаны, глинистые частицы суспензии из-за малых размеров почти свободно проходят через песок, вследствие чего концентрация суспензии мало изменяется. Если поры песка имеют незначительные размеры, при повторных пропусканиях глинистой суспензии происходит механическое поглощение частиц. В результате концентрация суспензии вновь начинает уменьшаться. При многократной фильтрации одного и того же объема суспензии возможно полное ее очищение. В этом случае основное значение принадлежит не физической, а механической поглотительной способности песка.

Прохождение и поглощение глинистых частиц через поры кольматируемой песчаной породы определяется соотношением размеров глинистых частиц и размерами песчаных зерен, а также размерами пор песчаного грунта и условиями поверхностного взаимодействия глинистых частиц как между собой, так и с песчаными частицами.

Так, для того, чтобы глинистые частицы суспензии не оседали на поверхности, образуя наилок, а вмывались в поры песков, их размер должен быть намного меньше пор и частиц, кольматируемого песка, а скорость оседания частиц – меньше скорости фильтрации воды через песок.

Вмывание глинистых частиц в песчаную породу происходит тогда, когда отношение их среднего диаметра к среднему диаметру частиц кольматируемой породы составляет не менее 0,2 – 0,15. Для того, чтобы частицы суспензии могли вмываться в песок в течение всего периода процесса кольматации, размеры этих частиц, со временем, должны уменьшаться в соответствии с убыванием пористости и действующего диаметра.

Адсорбция глинистых частиц на поверхности песчаных может происходить только при целенаправленном продвижении этих частиц в фильтрационном потоке и при этом, адсорбция может сопровождаться деформациями пленок связанной воды, окружающей песчаные и глинистые частицы.

Коагуляция частиц в порах пород при фильтрации через них глинистого раствора происходит под влиянием солей и при изменении электрокинетического потенциала, что приводит к электрокинетической коагуляции. При гидрофильной коагуляции частицы соединяются в наиболее активных местах поверхности, – в углах и ребрах, с образованием плотных агрегатов.

Таким образом, кольматация песков является комплексным явлением, которое представляет собой совокупность физического и механического поглощения глинистых частиц песками, выражающееся в адсорбционном взаимодействии между глинистыми и песчаными частицами, коагуляции и структурообразовании самих глинистых частиц. Каждый из этих факторов играет важную роль в механизме задержания твердых взвешенных частиц суспензии, фильтрующихся через пески, за счет состава и концентрации суспензии и кольматируемых песков.

Для приготовления кольматирующих глинистых растворов используются глины и суглинки, содержание глинистых частиц в которых составляет 10 % и выше в зависимости от крупности зерен кольматируемого песчаного грунта. Кольматирующие свойства глинистых

грунтов определяются химико-минералогическим, гранулометрическим, микроагрегатным составом и в первую очередь составом самой глинистой фракции, содержанием в ней водорастворимых солей и составом обменных катионов.

Глинистые грунты представляют собой коллоидно-дисперсные системы, в которых вместе с первичными частицами содержатся и вторичные, являющиеся микроагрегатами различной крупности. По гранулометрическому составу можно судить о содержании в кольматанте первичных частиц. Микроагрегатный состав глинистых грунтов показывает степень дисперсности, которая свойственна им в природных условиях залегания. Сопоставление данных о гранулометрическом и микроагрегатном составе дает представление о количестве микроагрегатов, а также их крупности. Гранулометрический состав глин и суглинков позволяет судить о возможности повышения дисперсности кольматантов путем специальной подготовки – обработки диспергирующими катионами глинистых грунтов.

Среди глин преобладают полиминеральные разности, причем кольматирующие свойства глинистых грунтов определяются прежде всего минеральным составом их тонкодисперсной и коллоидной части, то есть составом и количественным содержанием глинистых минералов. По отношению к песчаным зернам, сорбционная способность глин кольматантов характеризуется показателем адсорбционной способности глин. Показатель адсорбционной способности у глин различного минералогического состава отличается. Наибольшей сорбируемостью обладает гидролюдистая глина, затем монтмориллонитовая и самой малой сорбируемостью – каолинитовая глина.

Исследования процесса поглощения кварцевым песком частиц суспензии моно- и полиминеральных глин показывают, что при поглощении глин из коагулированных суспензий отмечается линейная зависимость поглощения от концентрации. Процесс поглощения коагулированной глины – механический процесс задержания коагулированных хлопьев глины в порах песка. Величина поглощения глинистых частиц из устойчивых суспензий не является линейной функцией концентрации, так как имеет более сложный характер. При малых концентрациях монтмориллонитовых глин поглощение практически отсутствует, но с увеличением концентрации возрастает, что обуславливается ростом адгезионного слоя. При концентрации 1,8 – 2,3 % поглощение резко возрастает за счет коагуляции глинистых частиц у поверхности адгезионного слоя. Но при концентрации свыше 2,3 % поглощение снижается из-за интенсивного структурообразования в суспензии.

Для каолинитовой суспензии зависимость поглощения от концентрации не устанавливается, что объясняется слабой способностью их частиц закрепляться на поверхности кварцевых зерен. Появление в составе глинистой суспензии гидролюдистой глины приводит к ее резкому взаимодействию с кварцевым песком. Таким образом, качественные изменения суспензии, которая проходит через песок выражаются в преимущественном поглощении песком гидролюдистых частиц из полиминеральной суспензии. Сложный характер зависимости поглощения кварцевым песком глинистых частиц из устойчивых суспензий свидетельствует о том, что процесс кольматации – сложный процесс, при котором вместе с механическим задержанием частиц происходит адсорбционное взаимодействие глинистых и песчаных частиц.

Оценку глинистых грунтов кольматантов следует проводить по их химико-минералогическому и гранулометрическому составу. Наилучшими кольматантами для мелкозернистых песков являются тяжелые глины, а также глины в которых суммарное содержание гипса и водорастворимых солей не более 5-6 %. Незасоленные тяжелые и средние суглинки используются для кольматации мелкозернистых песков при условии предварительного отмучивания в них частиц менее 0,05 мм. Концентрация суспензии при этом не должна превышать 0,5 – 1 % для грунтов гидролюдистого состава. Для кольматации средне-, крупно- и грубозернистых песков могут применяться глинистые и суглинистые грунты. Концентрация суспензий для таких песков составляет 1,3 – 3 %. Правильный подбор

глин-кольматантов по их химико-минералогическому составу и дисперсности является важным условием успешного кольматирования пеков.

Значительное влияние на устойчивость глинистых суспензий, используемых при кольматации, оказывает солевой состав воды, который влияет на степень диспергации и устойчивость приготовленных суспензий. Все соли, содержащиеся в воде, при концентрации их выше величины электролитического порога могут вызывать коагуляцию коллоидных и глинистых частиц. При концентрации солей ниже электролитического порога коагуляции содержание взвешенных частиц будет определяться в основном составом обменных катионов.

Для кольматации можно использовать природные воды. Для кольматации песков более благоприятны слабоминерализованные воды, в которых преобладают одновалентные катионы.

Гранулометрический состав песков – это главный фактор, связанный с природой кольматируемых песков и влияющий на процесс кольматации. Дисперсность песков определяет количество поглощенных песком глинистых и пылеватых частиц из фильтрующихся суспензий, глубину проникновения частиц суспензии, а также характер распределения этих частиц, в результате чего уменьшается коэффициент фильтрации песков. Пылеватые и глинистые частицы проникают в крупнозернистые пески на глубину более 20 см, в среднезернистые – на 14 см, в мелкозернистые – на 3 – 5 см. Таким образом, чем мельче частицы суспензии, тем глубже они проникают в крупнозернистые пески. Но в мелкозернистых и среднезернистых песках, чем мельче частицы суспензии, тем на меньшую глубину они вмываются.

При одинаковом составе и концентрации суспензий глинистые частицы в крупных песках проникают на большую глубину. Но при увеличении степени дисперсности песка глубина кольматации уменьшается, так как увеличение дисперсности приводит к росту суммарной удельной поверхности и возрастанию адсорбционного поглощения песком глинистых частиц. Глинистые частицы, попадая в поле действия сил молекулярного и электростатического притяжения мелкозернистых песков, сравнительно легко адсорбируются на поверхности песчаных зерен, тем самым препятствуя проникновению новых частиц суспензии в кольматируемую толщу песка. Вглубь мелкозернистого песка легче проникают частицы суспензии каолинового и монтмориллонитового состава, которые менее способны к адсорбции [1].

Химико-минералогический состав песков оказывает прямое и косвенное влияние на результаты кольматации. Косвенное выражается в том, что минералогический состав определяет размер и форму зерен, что в свою очередь определяет размер и форму пор и тем самым влияет на ход процесса кольматации. Непосредственно на процесс кольматации влияют соли, содержащиеся в песке, поэтому кольматация засоленных песков протекает иначе, чем кольматация незасоленных.

При содержании в песчаных грунтах в процессе кольматации водорастворимых солей ($>1\%$) происходит их растворение и вынос. В результате образующиеся пустоты заполняются глинистым веществом, что приводит к неравномерному распределению коагулирующих глинистых частиц. Такой вид кольматации является ненадежным, так как глина, заполняющая крупные пустоты, которые образуются в рассоляющемся песке, может легко диспергировать или коагулировать в зависимости от солевого состава фильтрующейся воды.

Удачный процесс кольматации зависит от состояния поверхности песчаных частиц, которые взаимодействуют с частицами суспензии. Кольматация песков будет протекать по-разному, если на песчинках будут присутствовать пленки различного состава из коллоидных и глинистых частиц. Состав пленки существенно влияет на процесс поглощения песком глинистых частиц из фильтрующихся суспензий. Пленки могут иметь электрический заряд однозначный или разнозначный с зарядом частиц взвеси или быть электрически

нейтральными. Пленки, богатые гидроокислами железа, заряжены положительно и способствуют адгезионному закреплению отрицательно заряженных глинистых частиц суспензии, накоплению их на поверхности песчаных зерен с образованием прочных связей. Отрицательно заряженные пленки, состоящие из глинистых минералов и органического вещества, могут оказывать стабилизирующее влияние на фильтрующиеся суспензии и способствовать проникновению их в более глубокие горизонты песчаной толщи.

Объемная масса скелета кольматируемого песка влияет на результаты, получаемые при кольматации. Кольматация мелкозернистых песков наиболее интенсивно протекает у песков с плотным сложением, чем с рыхлым по той причине, что при рыхлом сложении песок обладает большей пористостью, вследствие чего необходимо больше кольматирующей суспензии и больше времени для получения тех же результатов, что при плотном сложении. В таких условиях усиливается механическое поглощение глинистых частиц и затрудняется вынос частиц током воды.

При изучении процесса кольматации также большое значение имеет характер сложения песчаной толщи. В природных условиях толща может быть послойно разделена и обладать неодинаковой водопроницаемостью. Кольматация таких песков имеет некоторые особенности. Прослой крупнозернистого песка, залегающие на некоторой глубине, мало влияют на кольматацию вышележащих мелкозернистых песков, так как глубина и количество вымытых глинистых частиц определяется составом и водопроницаемостью вышележащей толщи мелкозернистых песков. Наличие в песчаной толще прослоек из более мелких частиц способствует кольматации песков. Глинистые суспензии, двигаясь сверху вниз, задерживаются из-за мелкозернистого материала и, в результате уменьшения водопроницаемости и меньшей пористости прослоек, глинистые и коллоидные частицы выпадают и коагулируют, то есть накапливаются среди частиц крупного песка под прослоем мелкого.

Таким образом, кольматация в песках, которые содержат тонкозернистые и пылевато-глинистые прослойки, а также горизонты сцементированного песка, проходит не только сверху вниз, но и снизу (от прослоев) вверх. В таком случае песок над прослойками может быть закольматирован повсюду, либо в нем могут образовываться два слоя: один на поверхности, другой на некоторой глубине от поверхности, непосредственно над прослойкой. При осуществлении кольматации каналов, водоемов, расположенных в неоднородной толще песчаных грунтов, величина уменьшения водопроницаемости и глубина кольматации зависят от дисперсности и водопроницаемости песков. В первую очередь кольматируются наиболее фильтрующие и наиболее грубые прослойки и линзы песка.

Список литературы

1 Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т.Трофимова. – 6-е изд., переработ, и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

V. L. MOLYARENKO

INFLUENCE OF THE COMPOSITION AND COMPOSITION OF SAND ROCKS ON THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF COLMATION

This article presents the results of the analysis of the colmatation process, as well as the effect of the composition and composition of sandy rocks on the efficiency of washing of the smallest particles into the pores of sandy rocks.