Volume 4, Issue 10 October 2026 **ISSN (E):** 2938-3757

ANALYSIS OF SOIL COMPACTION AT SITES OF SMALL-SCALE WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Khabibullaeva G. Zh.
Master's Student, Department of Construction of Engineering Utilities, Faculty of Architecture and Construction, Fergana State Polytechnic University, Uzbekistan

Abstract
Developing an optimal wastewater treatment method based on local materials is crucial for ensuring sanitary safety in agricultural areas and small settlements. In regions lacking extensive centralized sewer networks, wastewater is often discharged via septic systems and subsequently treated naturally through soil absorption fields (infiltration or filtration fields). While these systems are cost-effective, simple to operate, and energy-efficient, their reliability depends heavily on the soil's filtration capacity and the hydraulic conditions within the infiltration zone. Consequently, clogging of the septic system—specifically the infiltration surface—represents one of the most common yet least understood operational challenges facing rural residents and small businesses.

Keywords: Colmation, infiltration, clogging, suspended solids, sorbent.

Introduction

АНАЛИЗ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА НА УЧАСТКАХ НЕБОЛЬШИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД

Хабибуллаева Г. Ж.
Магистрант кафедры «Строительство инженерных коммуникаций» Архитектурно-строительного факультета Ферганского государственного технического университета, Узбекистан

Аннотация:
Вопрос разработки оптимального метода очистки сточных вод на основе местных материалов имеет большое значение для обеспечения санитарной безопасности в сельскохозяйственных и небольших населенных пунктах. В районах, где централизованная канализационная сеть развита недостаточно, сточные воды часто поступают через септические системы, а затем очищаются естественным путем через поля почвенной абсорбции (инфильтрационные или фильтрационные поля). Такие системы эффективны благодаря низкой стоимости, простоте эксплуатации и низкому энергопотреблению, но их надежность во многом зависит от фильтрующей способности почвы и гидравлического режима в инфильтрационной зоне. В этой связи засорение септика (засорение инфильтрационной поверхности) является одной из наиболее

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4

распространенных и одновременно наименее изученных эксплуатационных проблем для сельских жителей и малых предприятий.

Ключевые слова: колматизация, инфильтрация, засорение, взвешенные твердые частицы, сорбент.

Введение:

Колматизация это снижение водопроницаемости в инфильтрационной среде (обычно вокруг песчано-глинистых слоев и дренажных гравийных подушек) в результате закупорки поровой системы с течением времени органическими минеральными отложениями, биопленкой, коллоидными частицами и микробиологическими продуктами. Этот процесс нарушает почвенную фильтрацию, которая считается «ядром» механизма очистки в септике, и приводит к таким последствиям, как выброс сточных вод на поверхность, запах, санитарно-эпидемиологическая опасность, загрязнение грунтовых вод и выброс биогенов в окружающую среду [2, с. 51-55]. Таким образом, изучение проблемы коллатации, ее причин (гидравлических, физико-химических, биологических, структурных и эксплуатационных факторов) и оценка ее результатов служат методологической основой для проектирования коллатионостойких инфильтрационных сред на основе местных материалов (например, цеолита, бентонита, вспученной глины, шлака, песчано-гравийных смесей, природных сорбентов) [3, с. 88-92].

Цель данной небольшой исследовательской работы – систематизировать научно-практическое содержание коллатации септических резервуаров:

- определить понятие коллатации в контексте септического резервуара;
- выявить основные причины коллатации с точки зрения механизмов;
- проанализировать ее санитарно-экологические и эксплуатационные результаты;
- сформулировать основные правила вывода для подходов к предотвращению и обеспечению устойчивой эксплуатации на основе местных материалов. Инженерно-описательная основа понятия септического резервуара и коллатации. Первый этап в септической системе — механическое осаждение и анаэробное разложение в септическом резервуаре (отстойнике);

второй этап — дополнительная очистка путем фильтрации и биоокисления в смешанных аэробно-анаэробных условиях в поле почвенной абсорбции. Эффективность поля инфильтрации определяется образованием «биологически активного слоя на поверхности инфильтрации» (биомат, биопленка в некоторых источниках):

— он в определенной степени удерживает загрязняющие вещества и усиливает активность микроорганизмов, но если он чрезмерно утолщается, это приводит к резкому снижению водопроницаемости [4, с. 101-104]. (Рис. 1).

Биопленка играет в основном двойную роль: она улучшает очистку, но при неправильной гидравлической нагрузке ускоряется засорение; эта идея указывает на необходимость рассматривать септическое поле не только как объект «абсорбции», но и как деликатный гидро-биохимический реактор [4, с. 105].

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4



Рисунок 1. Вид фильтрационной зоны, покрытой и непокрытой биопленкой.

Термин «засорение» фактически охватывает несколько тесно связанных процессов: механическое засорение (затвердевание суспензий и мелких частиц в порах), биологическое засорение (биопленка, экзополимеры), химическое засорение (осаждение карбонатов, гидроксидов железа/марганца, фосфатов), газовое засорение (анаэробные пузырьки метана/CO_2) и структурные изменения (разложение почвенных агрегатов, дисперсия) [5, с. 33-38]. Эта классификация означает, что засорение не следует упрощать до «засорения только грязью»; поскольку для каждого механизма также отдельно выбираются оперативные меры: например, отдых, аэрация, усиленная предварительная обработка против биологического засорения; в то время как против химического засорения важен водно-кислотный баланс или выбор материала [5, с. 39-41].

Основная часть: Если рассматривать процесс засорения с гидравлической точки зрения, то главным параметром для потока, проходящего через инфильтрационную поверхность, является уменьшение коэффициента гидравлической проводимости (K) со временем и ограничение инфильтрационной способности(q). Исследования показали, что коэффициент гидравлической проводимости (K) в септиках может постепенно снижаться в течение нескольких месяцев и лет; это особенно наблюдается при высокой органической нагрузке и иррациональном гидравлическом режиме [6, с. 57-60]. На основании информации, полученной из источника, можно сделать вывод, что засорение следует оценивать не как отложенную аварию, а как предсказуемое ухудшение; поэтому при проектировании необходимо заранее учитывать такие решения, как гидравлический резерв, цикл покоя и разделение участка на секции [6, с. 61]. Основные причины засорения участка малой очистной станции зависят от многих факторов. Причины засорения взаимосвязаны и условно делятся на пять групп:

(1) переменный состав качества сточных вод;
(2) низкая эффективность предварительной очистки (септика);
(3) гидравлическая перегрузка и неправильная эксплуатация;
(4) геолого-гидрогеологические условия и свойства грунта;
(5) выбор конструктивных решений и материалов [2, с. 62–66].

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4

Приведенная выше группировка удобна для практики, поскольку при диагностике каждой причины засорения она быстро отвечает на вопрос «какой блок виноват»: например, если в септике есть проблема с осаждением, необходимо в первую очередь пересмотреть септики и фильтрующие кассеты, а не увеличивать площадь инфильтрации [2, с. 66].

Структурные факторы сточных вод. Взвешенные твердые частицы (ВТЧ) в бытовых сточных водах, масла и жиры (МЖЖ), поверхностно-активные вещества в моющих средствах, фосфаты и микрочастицы являются факторами, ускоряющими образование отложений на поверхности инфильтрации. В частности, масла и жиры могут становиться вязкими при низких температурах и образовывать гидрофобную пленку на гравийном и песчаном слоях, что снижает смачивающие свойства воды и ограничивает инфильтрацию [7, с. 112–114]. Из этого можно сделать вывод, что засорение следует понимать не только как «засорение частицами», но и как явление, связанное с поверхностными явлениями (смачивание, угол смачивания); поэтому при использовании локальных сорбентов в качестве критериев проектирования можно учитывать их гидрофильность и гидрофобность, сорбционную способность по маслу [7, с. 114].

Эффективность предварительной обработки. Если объем септика меньше нормы, гидравлическое время пребывания уменьшается, и мелкие диспергированные частицы проходят в поле фильтрации, не оседая. В то же время, если нарушается график удаления осадка в септике, содержание взвешенных твердых частиц на выходе увеличивается за счет ресуспензии, что приводит к многократному ускорению механического засорения [8, с. 23–27]. Преждевременное засорение инфильтрационных полей в большинстве случаев является не ошибкой проектирования, а следствием несвоевременного обслуживания септиков. Ослабление способности септика «защищать» фильтрующее поле приводит к гидравлическому кризису системы. Учитывая это, наряду с повышением эффективности фильтров на основе местных материалов, введение обязательных правил обслуживания, т.е. дополнительного графика очистки, является необходимым условием стабильности системы [8, с. 27].

Гидравлическая перегрузка и режим. Скорость кольматизации часто определяется отношением установленной суточной нагрузки (л, л/м²·сут) к фактической инфильтрационной способности почвы. При высокой нагрузке инфильтрационная поверхность долго остается влажной, ограничивается диффузия кислорода, усиливаются анаэробные условия, и биопленка утолщается [9, с. 75–79]. Эта цитата подтверждает концепцию «отдыха» на практике: чередование использования зоны инфильтрации в двух или трех секциях способствует восстановлению кислорода, частичной минерализации биопленки и восстановлению калия; таким образом, проектное решение становится профилактической мерой против кольматизации [9, с. 79].

Формула гидравлической нагрузки

$$A = \frac{Q}{LR}$$

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Здесь: A — площадь инфильтрации (м²), Q — суточный расход (м³/день), LR — долгосрочная скорость принятия (м³/м²·день). [1, с. 1487]

Почвенные и гидрогеологические факторы. В грунтах с мелкозернистой структурой (глина, ил), склонных к дисперсии, высокой соленостью или содержанием натрия, ямы могут быстро закрываться. Кроме того, при высоком уровне грунтовых вод увеличивается влажность капиллярной зоны, ограничивается аэробная обработка, снижается гидравлический градиент [10, с. 44–48]. Информация в источнике указывает на то, что колматизацию следует учитывать на этапе выбора участка: если природный грунт непригоден, необходимо создать искусственный фильтрующий слой (реактор-гравитационный) из местных материалов или рассмотреть решения по насыпной инфильтрации [10, с. 48]. Конструктивно-материальный выбор. Если гравийная фракция вокруг дренажных труб выбрана неправильно, если геотекстиль используется ненадлежащим образом или если песчаный слой расположен слишком близко к поверхности трубы, увеличивается миграция мелких частиц. Некоторые исследования показали, что сами геотекстили со временем также могут подвергаться биоминерализации, что говорит о необходимости осторожности при их использовании в качестве фильтров [11, с. 90–94]. Комментарий к этой цитате: геотекстили часто рассматриваются как «универсальное решение», но они могут накапливать фронт засорения внутри самого материала, а не перемещать засорение вниз; поэтому при выборе градиентного (послойного) фильтрующего состава на основе местных материалов целесообразно включать геотекстили только после гидравлических и биологических испытаний [11, с. 94].

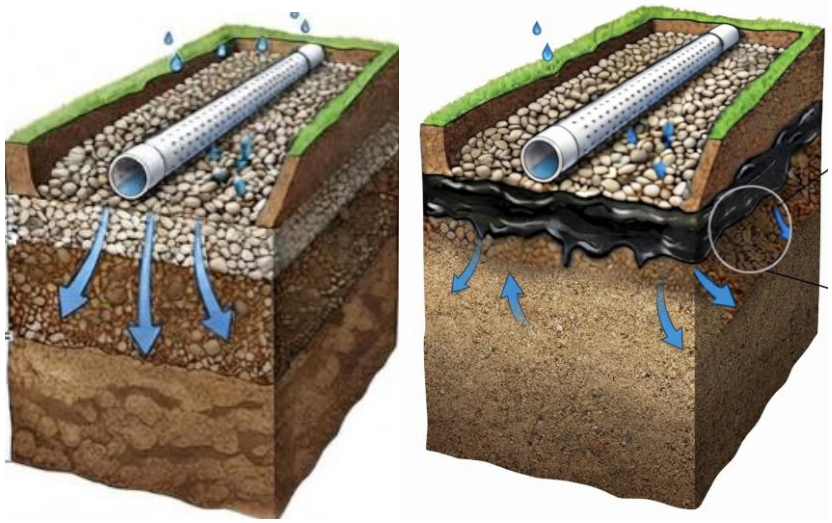


Рисунок 2. Процесс развития кольматизации.

Этапы и индикаторы развития кольматизации. Кольматизация обычно развивается постепенно, а не сразу. На первом этапе на инфильтрационной поверхности образуется биологически активный слой, и повышается эффективность очистки; на втором этапе гидравлическая проводимость медленно снижается, на участке появляются влажные зоны; на третьем этапе наблюдается локальное «затопление» и вымывание; на четвертом этапе возникает аварийная ситуация с увеличением обратного потока сточных вод,

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4

запахом и санитарными проблемами [12, с. 11–15]. Приведенная в источнике градация важна для диагностики: появление влажных пятен на участке — это не поздний признак кольматизации, а визуальное следствие снижения К на предыдущем этапе; поэтому в процессе эксплуатации может быть создана система раннего предупреждения с такими индикаторами, как контроль уровня в инфильтрационных трубах, уровень жидкости в инспекционных скважинах и даже распределение потока.

Санитарные, экологические и технические результаты колматации: Последствия засорения многогранны: это не только гидравлическая неисправность, но и санитарная опасность и ущерб окружающей среде.

Во-первых, в сточных водах, достигших поверхности участка, высокое содержание патогенных микроорганизмов; это увеличивает риск заболеваний при контакте с детскими площадками, садами и домашними животными [13, с. 204–208]. Практическое значение идеи в источнике: засорение септика следует рассматривать не как «проблему удобства», а как проблему общественного здравоохранения; поэтому при проектировании необходимо предусмотреть санитарно-защитные расстояния, ограничение поверхностного стока, аварийный обводной канал или резервную зону [13, с. 208].

Второе важное последствие – загрязнение грунтовых вод. При засорении направление потока может измениться, и вода будет течь по коротким «каналам» (преимущественный поток) без достаточной биохимической обработки; в результате нитраты, аммоний, фосфор и микробиологические показатели влияют на качество колодцев [14, с. 55–59]. Эта цитата предполагает, что засорение не всегда «прекращает» фильтрацию; иногда оно делает фильтрацию неравномерной и ухудшает очистку. Поэтому неправильно судить об экологическом риске только по тому, вышла ли вода на поверхность: необходим мониторинг грунтовых вод, особенно в районах с питьевыми колодцами [14, с. 59].

Третье последствие — увеличение эксплуатационных расходов и сокращение срока службы системы. Восстановление закопанной территории часто затруднено: требуется замена гравийной подушки, выемка грунта и строительство новой площадки.

Заключение: Исследования показали, что относительно небольшие затраты на предотвращение засорения могут в несколько раз снизить стоимость последующих крупных ремонтных работ [8, с. 28–30]. Вывод в источнике экономически значим: хотя внедрение профилактического слоя (сорбционного фильтра) или улучшенной постсептической обработки (например, биофильтра) на основе местных материалов может на первый взгляд показаться дорогостоящим, оно дешевле, чем перестройка объекта; поэтому целесообразно оценивать его с точки зрения «стоимости жизненного цикла» [8, с. 30]. Засорение и местные материалы: научно-практические направления профилактики. Поскольку общей темой является разработка оптимального метода очистки сточных вод на основе местных материалов, особое значение имеют решения в области материаловедения, направленные на снижение засорения. Здесь цель состоит не

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4

в полной «замене» септика материалом, а в правильном выборе слоев и узлов, противодействующих механизмам засорения.

Использованная литература

1. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery / Metcalf & Eddy; G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel. New York : McGraw-Hill Education, 2014. 1848 b.
2. Кузнецов, П.А. Малые системы водоотведения: эксплуатационные риски и надежность / П.А. Кузнецов. Москва : Инфра-Инженерия, 2021. 212 б.
3. Абдуллаев, Б.Р. Табиий зеолитлар асосида оқова сувларни тозалаш технологиялари / Б.Р. Абдуллаев. Тошкент : Fan va texnologiya, 2022. 176 б.
4. Leverenz, H.L. Biomat formation and hydraulic failure in soil absorption systems: mechanisms and control / H.L. Leverenz // Water Research. 2020. № 170. Б. 101–110. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115321
5. Zhang, Y. Clogging in infiltration and soil-based treatment systems: physical, chemical and biological contributions /Y.Zhang// Science of the Total Environment.2021. № 784. Б. 33–46. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147112
6.Иванов, С.Н. Диагностика и восстановление полей фильтрации при децентрализованной канализации /С.Н.Иванов // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 6. Б. 56–68.
7. Patel, R. Fats, oils and grease (FOG) in onsite wastewater systems and its role in soil clogging / R. Patel // Journal of Environmental Management. 2020. № 262. Б. 112–120. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110317
8. Каримов, Ш.Х. Септик иншоотларини эксплуатация қилиш ва чўкмаларни бошқариш / Ш.Х. Каримов. Самарқанд : СамДУ нашриёти, 2019. 96 б.
9. Smit, J. Resting cycles and aeration effects on infiltration performance of soil absorption fields / J. Smit // Ecological Engineering. 2023. № 186. Б. 75–84. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2023.106824
10. Раҳмонова, Н.А. Тупроқ ва гидрогеологик шароитларда инфильтрация майдонларининг ишончлилиги / Н.А. Раҳмонова. — Тошкент : “Ўзбекистон” НМИУ, 2020. — 128 б.
11. Volkov, A.V. Geotextiles and granular media in onsite wastewater infiltration: long-term clogging patterns /A.V.Volkov// Materials Today: Proceedings. 2021. № 45. Б. 90–99. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.312
12. Норқулов, Д.Д. Септикдан кейинги инфильтрация тизимларида мавсумий таъсирлар / Д.Д. Норқулов // Ўзбекистон муҳандислик журнали. 2024. № 2. Б. 10–19.
13. WHO. Guidelines on sanitation and health / World Health Organization. Geneva : WHO Press, 2018. 256 б.
14. Li, K. Groundwater contamination risks from failing septic soil absorption systems: nitrogen and pathogen transport / K. Li // Journal of Hydrology. 2022. № 612. Б. 55–61. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128012

Web of Technology: Multidimensional Research Journal
webofjournals.com/index.php/4
Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.