

Научная статья / Original article

УДК 628.3

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2026-2-100-112>

EDN: <https://elibrary.ru/uccwqw>

2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные
системы охраны водных ресурсов
(технические науки)



Осаждение ионов аммония из смеси бытовых и минеральных сточных вод

А. М. Фугаева ✉

Тюменский индустриальный университет

Тюмень, ул. Володарского, 38, 625000, Российская Федерация

✉ nastyafugaeva@mail.ru

Аннотация. Для термальных курортов характерна проблема утилизации не только бытовых сточных вод, но и значительных объемов использованной минеральной воды. Наиболее сложной задачей является удаление из воды ионов аммония NH_4^+ , которые впоследствии приводят к эвтрофикации водоемов. Исследование по совместной обработке бытовых и минеральных сточных вод было проведено методом химического осаждения, в результате чего было получено комплексное сельскохозяйственное удобрение – струвит. Определены оптимальные условия и дозы реагентов (гидрофосфата натрия, хлорида магния и гидроксида натрия) для снижения в воде концентрации иона аммония до установленных норм и получения струвита в объеме 5.35 г/дм³. При разбавлении аммонийсодержащих бытовых стоков минеральной водой удалось сократить расход хлорида магния на 80 %. Техничко-экономический анализ показал, что в этом случае экономия средств может составлять 3–4 тыс. рублей на 1 м³ обрабатываемой воды, и полученная прибыль за счет продажи полученного удобрения может частично компенсировать затраты на утилизацию сточных вод.

Ключевые слова: водоотведение, обработка сточных вод, ион аммония, струвит, минеральная вода, водоотведение термальных курортов

Для цитирования: Фугаева А. М. Осаждение ионов аммония из смеси бытовых и минеральных сточных вод. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2026;6(2):100–112. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2026-2-100-112> EDN: UCCWQW

Precipitation of ammonium ions from a mixture of domestic and mineral wastewater

Anastasiia M. Fugaeva ✉

Industrial University of Tyumen

Tyumen, 38 Volodarskogo St., 625000, Russian Federation

✉ nastyafugaeva@mail.ru

Abstract. Thermal resorts face the challenge of disposing of not only domestic wastewater but also significant volumes of used mineral water. The most critical aspect is the removal of ammonium ions (NH_4^+) from the water, as they subsequently lead to eutrophication of water bodies. A study on the combined treatment

of domestic and mineral wastewater was conducted using chemical precipitation, resulting in the production of a complex agricultural fertilizer – struvite. Optimal conditions and reagent doses (sodium hydrophosphate, magnesium chloride, and sodium hydroxide) were determined to reduce ammonium ion concentration in the water to established regulatory standards and achieve a struvite yield of 5.35 g/dm³. Diluting ammonium-containing domestic wastewater with mineral water reduced magnesium chloride consumption by 80%. A technical and economic analysis indicated that cost savings could amount to 3.000–4.000 rubles per m³ of treated water, and the profit generated from selling the fertilizer could partially offset wastewater disposal costs.

Keywords: water disposal, wastewater treatment, ammonium ion, struvite, mineral water, thermal resort wastewater disposal

For citation: Fugaeva A. M. Precipitation of ammonium ions from a mixture of domestic and mineral wastewater. *Architecture, Construction, Transport*. 2026;6(2):100–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2026-2-100-112>



1. Введение / Introduction

Водоотведение термальных курортов имеет две основные проблемы. Первая – использованная минеральная вода (МВ) (10–30 % от общего объема оздоровительных бассейнов), которая, как правило, сливается в прилегающие пресные водные объекты (пруд, озеро или реку). Это приводит к существенному изменению качества воды в таких водоемах: повышается общая минерализация, беднеет флора и фауна, исчезает рыба, происходит засоление почв [1]. Вторая – накопление в септиках хозяйственно-бытовых сточных вод (БСВ), которые требуется периодически откачивать и вывозить на канализационные очистные сооружения (КОС) [2]. Это не всегда экономически выгодно, поэтому неочищенные сточные воды также часто несанкционированно сбрасывают в пруды, болота и на рельеф.

Существует практика строительства небольших по мощности КОС, которые могут принимать БСВ децентрализованных объектов на очистку. Традиционным методом удаления азотсодержащих элементов общепризнана биологическая очистка, которая для небольших автономных объектов не всегда экономически оправдана. Кроме того, такие КОС отличаются низкой эффективностью, особенно в зимнее время в условиях низких температур [3]. Наиболее сложно удаляются из воды ионы аммония NH₄⁺, которые впоследствии вызывают активную эвтрофикацию водоемов [4]. А если принимать на такие КОС еще и отработанные минеральные воды с высокой степенью минерализации, то это приводит к постепенной деградации активного ила.

По химическому составу минеральные воды – хлоридные натриевые; биологически активные компоненты представлены йодом, бромом и бором; состав растворенных газов преимущественно азотно-метановый; воды термальные, температура в пласте варьируется от 15 до 45 °C и более; концентрация растворенных солей может достигать 75 г/дм³ [5–9]. Как правило, в зоне разработанных скважин минеральной воды строятся современные термальные курорты для отдыха и оздоровления городского населения. Кроме основных бассейнов с минеральной водой, в инфраструктуре таких комплексов в обязательном порядке предусматриваются отели, рестораны, туалеты, душевые комнаты, процедурные кабинеты, жилье для персонала и прачечные. При этом не всегда есть возможность подключить эти коммунальные объекты к централизованной системе канализации близлежащего крупного населенного пункта [10, 11].

Минеральные воды на территории Тюменской области распространены повсеместно: здесь открыто 76 скважин, из которых на данный момент эксплуатируется менее половины. Наиболее популярные источники (17 обустроенных объектов) сосредоточены в городах и пригородных зонах (рис. 1). Глубина заложения таких вод варьируется от 950 до 2 500 м; температура воды на выходе



Рис. 1. Схема расположения горячих минеральных источников (схема составлена автором)

Fig. 1. Map of hot mineral springs (author's scheme)

составляет 20–50 °С. Практически в любой точке г. Тюмени и его пригородной территории на глубине более чем 1.3 км есть доступ к горячей минеральной воде [12, 13]. Кроме того, минеральными также являются пластовые и подтоварные воды объектов нефтегазодобычи Тюменского региона.

Минеральная вода тюменских термальных курортов богата магнием, а бытовые сточные воды насыщены ионами аммония и фосфатов. Смешение МВ и БСВ теоретически создает необходимый и достаточный симбиоз для получения струвита, так как это соединение представляет собой нерастворимый осадок магний-аммоний-фосфата $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ [14–17]. Это позволяет внедрить малоотходную технологию обработки двух видов сточных вод. Дополнительно получение струвита позволяет компенсировать затраты на реагенты и снизить себестоимость очистки воды, потому что струвит является ценным сельскохозяйственным удобрением.

В данной работе поставлена цель выяснить, возможно ли получить струвит при смешивании МВ и БСВ, образующихся на термальных курортах. Также требуется определить оптимальные параметры химического осаждения струвита, экономию расхода реагентов и количество получаемого удобрения при обработке 1 м³ воды.

В качестве объектов исследования выбраны: 1) модельный раствор ионов аммония (МР) и БСВ, привезенные с ГОСК г. Тюмени; 2) МВ, которая была взята на горячем источнике «Верхний бор» (13 км от г. Тюмени, курорт «Эльдорадо») на сливе из бассейна. Предметом исследования являлось влияние доз реагентов на изменение качества воды после очистки в результате химического осаждения струвита.

Данное исследование в большей степени ориентировано на удаление аммония из сточных вод, что не исключает потребности в очистке стоков от других загрязнений посредством других методов. Примером использования является технология физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, включающая коагуляцию, отстаивание, окисление, реагентное удаление ионов аммония и фильтрование [18]. Учитывая, что реагентная обработка достаточно высокочемическая, предлагается восполнить дефицит магния минеральными водами в местах, где они имеются.

2. Материалы и методы / Materials and methods

В качестве контрольных показателей изменения качества воды в процессе эксперимента были приняты: индекс pH, концентрация ионов аммония NH_4^+ , фосфатов PO_4^{3-} , ионов магния Mg и хлоридов Cl, общая минерализация, температура воды и объем осадка. Контрольные показатели, методы определения и используемые приборы представлены в таблице 1.

Химическое осаждение ионов аммония в водной среде путем добавления реагентов, содержащих фосфат-ионы (гидрофосфата натрия) и ионы магния (хлорида магния), сопровождается получением магний-аммоний-фосфата, или струвита $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$. Данный процесс осуществляется при pH = 8.5–10 по следующему механизму [19]:

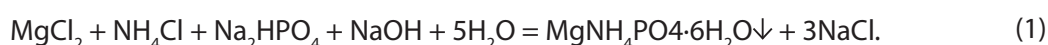


Таблица 1. Основные показатели качества воды и методики определения
Table 1. Key water quality indicators and their determination methods

Показатель	Методика испытания	Приборы, оборудование
рН, ед. рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 ¹	рН-метр «рН-150МИ» (производитель – «Измерительная техника», Россия)
Ион аммония NH_4 , мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.262-10 ²	Спектрофотометр «ПЭ-5400ви» (производитель – «Экрос», Россия)
Магний Mg, мг/дм ³	РД 52.24.403-2018 ³	Оборудование титриметрии
Хлориды Cl, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3.96-97 ⁴	Оборудование титриметрии
Фосфаты PO_4 , мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.112-97 ⁵	Спектрофотометр «ПЭ-5400ви» (производитель – «Экрос», Россия)
Общая минерализация, г/дм ³	Тестовый метод	Цифровой измеритель «EZ-9909SP» (производитель – Noyafa, Китай)
Объем осадка, мл	Объемный метод	Мерный стакан лабораторный
Температура, °C	ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010 ⁶	рН-метр «рН-150МИ» (производитель – «Измерительная техника», Россия)

Для получения струвита требуется оптимальное соотношение элементов в воде по молярной массе: $\text{Mg}_2:\text{NH}_4:\text{PO}_4 = 1:1:1$. Струвит – это белый мелкодисперсный порошок, который получают после сушки осадка химической реакции. Он обладает высокой эффективностью за счет трех основных питательных элементов: азота, фосфора и магния. Как отмечено в [20], главное преимущество заключается в том, что продукт почти не растворяется и не уходит в грунт при поливе или проливных дождях, поэтому удобрение работает в течение всего сельскохозяйственного периода.

В исследованиях проверялось получение струвита из БСВ или МР и получение струвита из смеси БСВ + МВ (рис. 2). БСВ являются основным источником ионов аммония, а МВ богата соединениями магния. Вариант по второй схеме позволяет сэкономить на реагентах, снизить общую минерализацию воды и найти применение отработанным минеральным водам термальных курортов.

¹ ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200056733> (дата обращения: 01.03.2026).

² ПНД Ф 14.1:2:4.262-10. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293807/4293807043.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

³ РД 52.24.403-2018. Массовая концентрация ионов кальция в водах. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. URL: <https://docs.cntd.ru/document/551494643> (дата обращения: 01.03.2026).

⁴ ПНД Ф 14.1:2.96-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044244> (дата обращения: 14.02.2026).

⁵ ПНД Ф 14.1:2.112-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфат-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с восстановлением аскорбиновой кислотой. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200056718> (дата обращения: 14.03.2026).

⁶ ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатка в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом (издание 2015 года). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

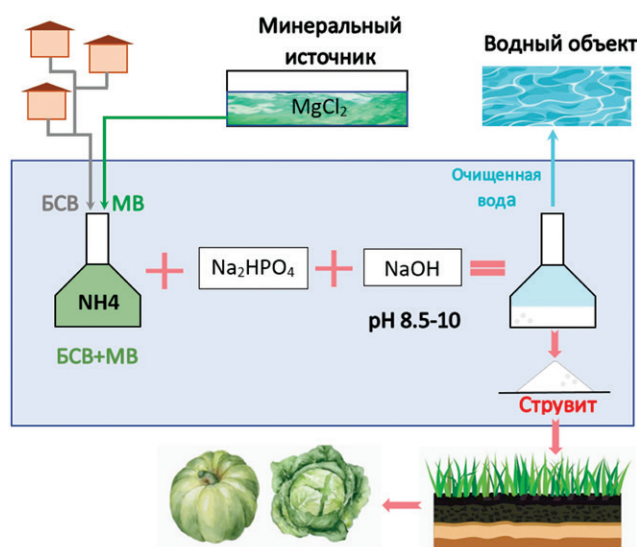


Рис. 2. Схема получения струвита
(схема составлена автором)

Fig. 2. Scheme for struvite production (author's scheme)

На первом этапе приготовили МР NH_4 с концентрацией 60 мг/дм^3 (по факту концентрация составила 53.4 мг/дм^3): согласно расчету, в дистиллированную воду объемом 1 л добавили 1.19 г хлористого аммония NH_4Cl . Далее приготовили 11.91% -ный раствор гидрофосфата натрия (R1) и 6.75% -ный раствор хлорида магния (R2). Для поддержания постоянного значения индекса $\text{pH} = 10$ использовался 10% -ный раствор гидроксида натрия (R3).

На втором этапе объектом исследования была смесь модельного раствора ионов аммония и минеральной воды (МР + МВ), насыщенной магнием и хлоридами. В данной серии экспериментов реагент R2 (хлорид магния) заменялся на отработанную МВ, взятую с горячего источника «Верхний бор». Рассматривались разные степени разбавления МР: МВ – $0.25, 0.5$ и 0.75% с целью увеличения концентрации магния.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Первый этап эксперимента

В пять лабораторных высоких стаканов рабочим объемом 1 л каждый добавляли МР NH_4 , затем при быстром механическом перемешивании добавляли реагенты в следующем порядке: R1, R2 и R3. В каждом опыте растворы реагентов R1 и R2 вносили в одних и тех же объемах ($10, 20, 30, 50$ и 60 мл). Температура проб воды находилась в пределах $23\text{--}24^\circ\text{C}$. Далее каждая проба подвергалась гравитационному отстаиванию, в процессе которого выделялся белый осадок.

Результаты измерения контрольных показателей до и после осаждения (спустя 24 ч в лабораторных условиях) представлены в таблице 2. На рис. 3 показана зависимость содержания остаточных ионов аммония в осветленной воде от внесенной доли (%) реагентов R1 и R2. Эксперимент по увеличению объемов растворов реагентов продолжался до достижения минимального значения остаточной концентрации ионов аммония, не превышающей 1.5 мг/дм^3 , согласно СанПиН 2.1.3685-21⁷.

Максимальная доза реагента R1 составила 5.67 г/дм^3 , доза реагента R2 – 3.22 г/дм^3 . Во всех пробах производился контроль концентрации хлоридов, которая возрастала с увеличением добавления в пробу воды хлорида магния и находилась в пределах от 124 до $1\,200 \text{ мг/дм}^3$. Остаточная концентрация фосфатов PO_4 также была под контролем, она составляла от 0.71 до 1.35 мг/дм^3 (в пределах нормы для КОС малой производительности). Для максимальной концентрации хлоридов норма к сбросу в водный объект не установлена⁸.

⁷ СанПиН 2.1.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 01.03.2026).

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 года № 1430 «Об утверждении технологических показателей лучших доступных технологий в области очистки сточных вод с использованием централизованных систем отвода населенных пунктов или городских округов». URL: <https://base.garant.ru/74660498/> (дата обращения: 01.03.2026).

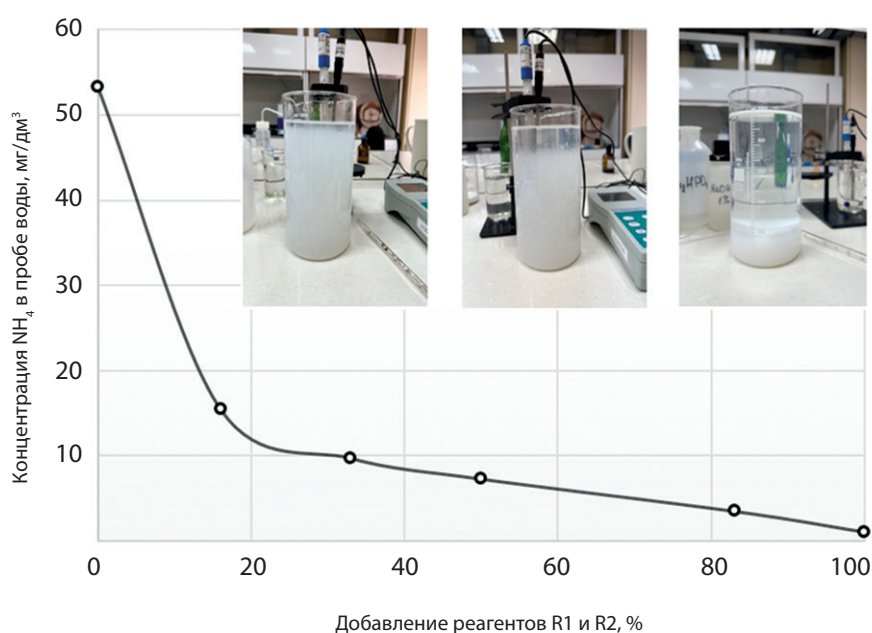


Рис. 3. График зависимости остаточной концентрации ионов аммония от процента внесенных реагентов R1 (гидрофосфата натрия) и R2 (хлорида магния) (график составлен автором)
Fig. 3. Graph of residual ammonium ion concentration versus the percentage of added reagents R1 (sodium hydrophosphate) and R2 (magnesium chloride) (author's graph)

Таблица 2. Остаточные концентрации загрязнений после внесения реагентов
Table 2. Residual contaminants concentrations after reagent addition

Внесение основных реагентов, %	Объем раствора R1, мл	Объем раствора R2, мл	Концентрация NH_4^+ , мг/л	Концентрация Cl^- , мг/л	Концентрация PO_4^{3-} , мг/л
0	0	0	53.50 ± 1.32	124.1 ± 8.6	0
16	10	10	15.51 ± 1.25	350 ± 15	0.71 ± 0.05
33	20	20	9.72 ± 0.82	615 ± 22	0.88 ± 0.05
50	30	30	7.29 ± 0.66	850 ± 22	1.06 ± 0.08
83	50	50	3.51 ± 0.41	$1\,170 \pm 26$	1.22 ± 0.08
100	60	60	1.08 ± 0.09	$1\,200 \pm 30$	1.35 ± 0.11

В результате каждого опыта в лабораторном стакане образовывался осадок белого цвета с видимой четкой границей разделения фаз. Максимальная степень уплотнения и, соответственно, снижение границы раздела фаз достигались через 6 часов. На рис. 4 показана зависимость объема осадка от продолжительности уплотнения. Начальный объем осадка составлял 49.1 см^3 , после уплотнения – 27.5 см^3 . Влажность осадка сразу после химического осаждения была 95.1 %, после 6-часового уплотнения она составила 90.4 %. После сушки при комнатной температуре 23°C получилось 5.35 г порошка. Это и есть ценное минеральное удобрение струвит, который вносится в почву в сухом виде.

В итоге эксперимент с МР показал возможность получения струвита методом химического осаждения ионов аммония, при этом минимальная остаточная концентрация ионов NH_4^+ в пробе воды составляла 1.08 мг/дм^3 .



Рис. 4. Уменьшение объема осадка в процессе уплотнения
(график составлен автором)

Fig. 4. Sediment volume reduction during compaction (author's graph)

Второй этап эксперимента

При добавлении в смесь МР + МВ только гидрофосфата натрия магний, содержащийся в минеральной воде, реагировал с другими химическими элементами и позволял снизить содержание NH_4 , а также получить струвит. В данном опыте удалось снизить содержание NH_4 до концентрации 13.6 мг/дм^3 , но этого недостаточно для достижения установленной нормы в 1.5 мг/дм^3 . Эксперимент показал, что для снижения концентрации NH_4 до нормы в смесь МР + МВ все же требуется добавление реагента R2 (хлорида магния), хотя и в меньших количествах ($0.52\text{--}0.81 \text{ мг/дм}^3$), чем это осуществлялось в предыдущей серии опытов без участия МВ (таблица 3). На рис. 5 представлена динамика снижения концентрации ионов аммония (спустя 24 ч в лабораторных условиях) в зависимости от доз реагентов R1 и R2.

Таблица 3. Результаты эксперимента со смесью МР и МВ (75 %)

Table 3. Results of the experiment using a mixture of an ammonium model solution and mineral water (75%)

Доза реагента R1, г/дм³	Доза реагента R2, г/дм³	Концентрация NH_4 , мг/дм³	pH после осаждения	Минерализация, мг/дм³	Объем осадка, см³
1.13	0	27.5 ± 1.2	9.03 ± 0.01	$4\,935 \pm 30$	170
2.27		22.5 ± 0.8	9.60 ± 0.01	$5\,021 \pm 45$	180
3.41		21.6 ± 1.0	9.65 ± 0.01	$5\,196 \pm 59$	190
		13.6 ± 0.4	9.85 ± 0.01	$5\,273 \pm 45$	200
5.67	0.13	9.43 ± 0.3	10.01 ± 0.01	$5\,345 \pm 55$	220
	0.26	7.65 ± 0.6	9.96 ± 0.01	$5\,419 \pm 43$	230
	0.52	1.09 ± 0.7	9.33 ± 0.01	$5\,563 \pm 34$	280
	0.81	0.32 ± 1.1	8.66 ± 0.01	$5\,725 \pm 33$	300
Исходные растворы:					
МР	–	84.8 ± 1.52	6.7	190 ± 16	–
МВ	–	5.6 ± 0.4	7.7	$6\,407 \pm 95$	–
МР + МВ (75 %)	–	64.7 ± 1.5	7.3	$4\,853 \pm 57$	–

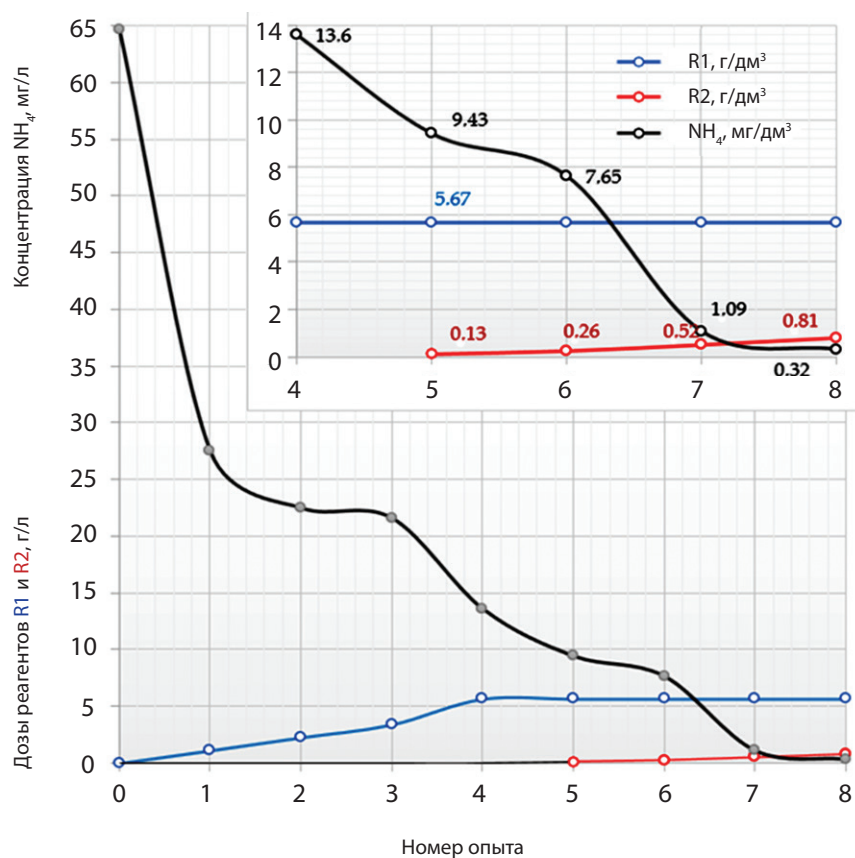


Рис. 5. Динамика снижения остаточной концентрации NH_4 в зависимости от доз реагентов $R1$ и $R2$
(график составлен автором)

Fig. 5. Dynamics of residual NH_4 concentration reduction as a function of $R1$ and $R2$ reagent doses (author's graph)

При смешении МР NH_4 и МВ удалось снизить расход хлорида магния почти в 4 раза. При этом остаточная концентрация ионов аммония составляла 0.32 мг/дм³. Полученные результаты подтверждают тот факт, что соединения магния в природной минеральной воде могут участвовать в формировании кристаллов струвита [21].

Изучение процесса образования струвита в смеси реальных БСВ и МВ происходило в условиях различной степени разбавления: на 25, 50 и 75 %. В процессе эксперимента ожидалось снижение расхода хлорида магния ($R2$), так как МВ содержит магний и его соединения в достаточно высокой концентрации (65.6 мг/дм³). В таблице 4 представлены значения доз реагентов $R1$ и $R2$, концентрации NH_4 , общей минерализации и PO_4 после химического осаждения струвита. На рис. 6 показано сокращение использования реагента $R2$ и концентрации остаточного аммония NH_4 для разных разбавлений сточных вод. Остаточный аммоний во всех пробах не превышал 1.5 мг/дм³. Фосфаты в процессе также сокращались с 8.22 до 4.83 мг/дм³, и в итоге не превышали норму в 5 мг/дм³⁹. Предположительно это происходило также за счет использования части фосфатов PO_4 , находящихся в сточных водах, для получения струвита. Результаты показали, что в данном эксперименте использование реальных сточных

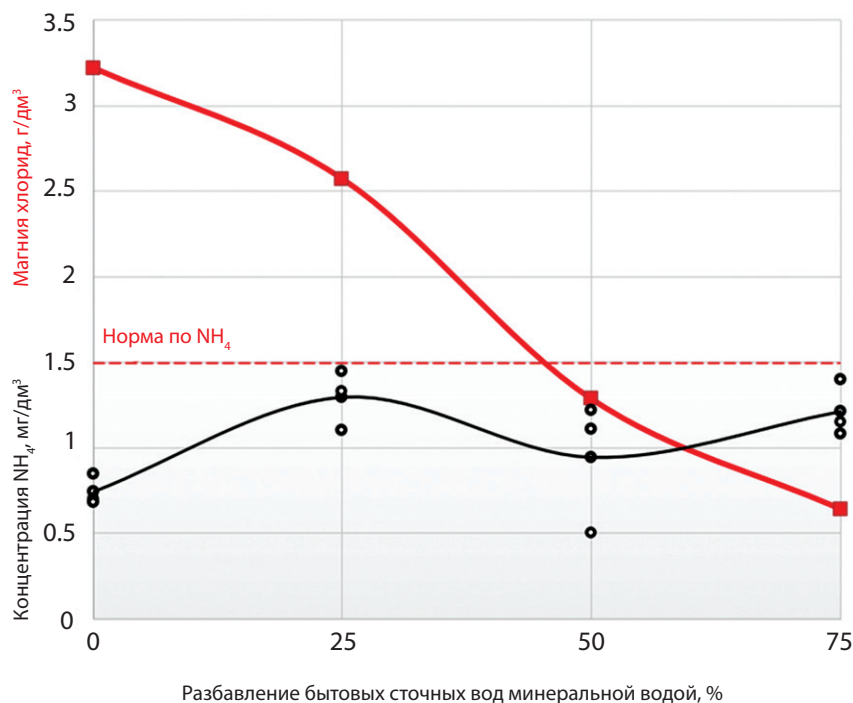
⁹ Там же.

вод в целом не повлияло на результат: при аналогичных дозах реагентов R1, R2 и R3 получилось снизить концентрацию NH_4 до установленных норм. При разбавлении БСВ минеральной водой удалось сократить дозу хлористого магния (R2) в 5 раз, при этом концентрация NH_4 оставалась в норме для сброса в водный объект. Итоговая общая минерализация в целом возрастала с 3 380 до 5 460 мг/дм³ (таблица 4). Это связано с увеличением доли МВ и выходом Cl в растворе, однако это на 14.8 % ниже, чем в исходной МВ. Значение индекса pH находилось в пределах от 9 до 10. Объем осадка составлял от 100 до 200 см³; после сушки при постоянной температуре в комнатных условиях удалось получить 4.75 ± 0.3 г сухого струвита.

Таблица 4. Результаты эксперимента со смесью БСВ и МВ

Table 4. Results of the experiment using a mixture of domestic wastewater and mineral water

Степень разбавления БСВ, %	Доза раствора R1, г/дм³	Доза раствора R2, г/дм³	Концентрация NH₄, мг/дм³	Минерализация, мг/дм³	Концентрация PO₄, мг/дм³
0	5.67	3.22	0.74 ± 0.11	3 380 ± 22	8.22
25		2.57	1.29 ± 0.16	4 430 ± 35	7.54
50		1.29	0.94 ± 0.44	4 640 ± 38	6.63
75		0.64	1.21 ± 0.20	5 460 ± 52	4.83
Исходные растворы					
БСВ	–	–	82.9 ± 3.2	670 ± 23	18.5 ± 1.3
МВ			5.6 ± 0.4	6 407 ± 95	0.11 ± 0.01

Рис. 6. Динамика изменения остаточной концентрации NH_4 и расхода реагента R2 в зависимости от степени разбавления БСВ : МВ (график составлен автором)Fig. 6. Dynamics of residual NH_4 concentration and R2 reagent consumption as a function of the domestic wastewater dilution ratio with mineral water (author's graph)

Настоящий эксперимент показал, что при концентрации ионов аммония 50–70 мг/дм³ можно получить до 5 г сухого струвита. Однако требуется учитывать активную часть в промышленных реагентах, которая иногда достигает всего лишь 50 %. Кроме того, в реальных сточных водах увеличивается мешающий процессу эффект от других типов загрязнений. Этот факт существенно влияет на качество струвита и на увеличение расхода реагентов. Для снижения вероятности биологического загрязнения струвита БСВ должны быть предварительно очищены методом отстаивания, чтобы до 90 % патогенных организмов (личинки и яйца гельминтов) выпало в осадок совместно со взвешенными веществами.

Для достижения требуемых показателей качества перед выпуском в водный объект исследуемый способ предлагается использовать для малых децентрализованных поселений в технологиях физико-химической очистки сточных вод, состоящих, к примеру, из следующих процессов: процеживания, коагуляции, отстаивания, окисления органики, химического осаждения ионов аммония, обратного осмоса и обеззараживания.

Предварительный технико-экономический анализ показал, что при замене хлорида магния минеральной водой экономия средств на получение струвита может составлять 3–4 тыс. рублей на 1 м³ обрабатываемой воды. На современном рынке стоимость струвита доходит до 10 тыс. рублей за 1 кг, и это может частично компенсировать затраты на обработку и утилизацию сточных вод.

4. Заключение / Conclusions

Проведенное исследование позволило прийти к выводу, что возможно одновременно очистить воду, содержащую ионы аммония, и получить ценное сельскохозяйственное удобрение – струвит. Для этого требуется три вида реагентов: гидрофосфат натрия, хлорид магния и гидроксид натрия для стабилизации pH. В этом случае концентрацию ионов аммония можно снизить до нормативного значения и ниже. Минеральная вода может также участвовать в этом процессе и компенсировать расход хлорида магния за счет своего природного химического состава. В лабораторном испытании удалось получить 5.35 г/дм³ сухого струвита, который насыщен соединениями азота и фосфора. Это дает возможность не только очистить сточные воды от аммония, но и получить экономическую эффективность за счет реализации вторичного продукта обработки воды. Тем не менее нерешенными остаются следующие проблемы: повышение минерализации воды после осаждения струвита, в том числе за счет выхода хлоридов; нестабильность и разнообразие качества бытовых сточных вод и, как следствие, влияние других видов загрязнений на расходы реагентов и на качество струвита.

Настоящее исследование носит промежуточный характер и требует проведения дополнительных экспериментов и исследований, касающихся работоспособности метода в реальных условиях, которые позволят уточнить, где возможно применение этого метода без дополнительной очистки. На текущий момент данный способ предлагается рассматривать как один из этапов обработки сточных вод для удаления ионов аммония в технологиях очистки смешанных бытовых и минеральных стоков, что не исключает использование других методов для достижения требуемых показателей качества воды на выпуске.



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The author declares no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Соромотин А. В., Казанцева М. Н., Кремлева Т. А., Елизарова Д. П., Бродт Л. В., Фефилов Н. Н. Техногенный галогенез поверхностных вод и растительных сообществ в результате сброса минеральной

- воды в небольшой бассейн речных вод. *Проблемы региональной экологии*. 2020;(1):45–53. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-11045> URL: <https://elibrary.ru/qcibtw>
2. Sari E. K., Nur E., Tirtaweningtias S. Effectiveness of hotel wastewater treatment and economic benefits of clean water from STP-based wastewater treatment plants. *Journal Penelitian Pendidikan IPA*. 2026;12(2):375–382. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i2.14025>
 3. Vialkova E., Maksimova S., Zemlyanova M., Maksimov L., Vorotnikova A. Integrated design approach to small sewage systems in the Arctic climate. *Environmental Processes*. 2020;7:673–690. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00427-6>
 4. Gupta V. K., Sadegh H., Yari M., Shahryari Ghoshekandi R., Maazinejad B., Chahardori M. Removal of ammonium ions from wastewater: A short review in development of efficient methods. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2015;1(2):71–94. URL: https://www.researchgate.net/publication/270341154_Removal_of_ammonium_ions_from_wastewater_A_short_review_in_development_of_efficient_methods
 5. Александров А. С., Бешенцев В. А. Тобольский и Черкашинский участки минеральных вод: сходства и различия. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2026;337(1):55–65. <https://doi.org/10.18799/24131830/2026/1/5334>
 6. Петров С. А., Мамаева Н. Л. Оценка запасов геотермальных источников минеральных вод юга Тюменской области. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2023;100(3):46–50. <https://doi.org/10.17116/kurort202310003146>
 7. Туровина Е. Ф., Шишина Е. В., Шумасова Ф. К., Аверин С. О. Лечебные минеральные воды юга Тюменской области. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2018;95(3):69–73. <https://doi.org/10.17116/kurort201895369>
 8. Liao Y., Liu Y., Wang G., Li T., Liu F., Wei S., Yan X., Gan H., Zhang W. Genesis mechanisms of geothermal resources in Mangkang geothermal field, Tibet, China: Evidence from hydrochemical characteristics of geothermal water. *Water*. 2022;14(24):4041. <https://doi.org/10.3390/w14244041>
 9. Bertoldi D., Bontempo L., Larcher R., Nicolini G., Voerkelius S., Lorenz G. D., et al. Survey of the chemical composition of 571 European bottled mineral waters. *Journal of food composition and analysis*. 2011;24(3):376–385. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.07.005>
 10. Jetimov M., Tokpanov Ye., Mukhitdinova R., Yessengabylova A. Geoenviromental assessment of hydro-mineral recreational resources in the eastern and southeastern parts of the Alakol lakes system. *Bulletin of the L. N. Gumilyov ENU. Chemistry. Geography Series*. 2025;153(4):91–105. <https://doi.org/10.32523/3107-278X-2025-153-4-91-105>
 11. Sanz De Ojeda J., Elorza F. J., Sanz E. Interdisciplinary research for the delimitation of catchment areas of large deep karstic aquifers: origin of the thermal springs of Alhama de Aragón and Jaraba (Spain). *Water*. 2024;16(22):3303. <https://doi.org/10.3390/w16223303>
 12. Pala A., Kocabiyik E., Kursun G. The statistical and technical evaluation of the wastewater treatment plants in holiday resorts. *The holistic approach to environment*. 2020;10(3):78–83. <https://doi.org/10.33765/thate.10.3.3>
 13. Cano J., Ramasola A., Gucor M. A., Olaso L., Lim D., Micabalo K. Implementation of solid water and waste water management of beach resorts in Anda, Bohol, Philippines. *JPAIR Multidisciplinary Research*. 2021;45(1):177–202. <https://doi.org/10.7719/jpair.v45i1.693>
 14. Zhang X., Hu J., Spanjers H., van Lier J. B. Struvite crystallization under a marine/brackish aquaculture condition. *Bioresource Technology*. 2016;218:1151–1156. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.088>
 15. O’Neal J. A., Boyer T. H. Phosphate recovery using hybrid anion exchange: applications to source-separated urine and combined wastewater streams. *Water Research*. 2013;47(14):5003–5017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.037>
 16. Ronteltap M., Maurer M., Hausherr R., Gujer W. Struvite precipitation from urine-Influencing factors on particle size. *Water Research*. 2010;44(6):2038–46. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.015>
 17. Liu B., Giannis A., Zhang J., Chang V. W., Wang J. Y. Characterization of induced struvite formation from source-separated urine using seawater and brine as magnesium sources. *Chemosphere*. 2013;93(11):2738–47. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.025>
 18. Фугаева А. М. Реагентная очистка бытовых сточных вод от ионов аммония в условиях арктической децентрализации поселений. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(1):67–80. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-1-67-80>
 19. Lobanov S. A., Poilov V. Z. Treatment of wastewater to remove ammonium ions by precipitation. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2006;79:1473–1477. <https://doi.org/10.1134/S1070427206090151>

20. Старостин А. Г., Кузина Е. О., Косухина А. И. Способ извлечения магния-аммония-фосфата из сточных вод: Патент RU 2792126 C1. Дата публикации: 16.03.2023, Бюл. № 8. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2792126C1/ru>
21. Zhang X., Tao Y., Hu J., Liu G., Spanjers H., van Lier J. B. Biomethanation and microbial community changes in a digester treating sludge from a brackish aquaculture recirculation system. *Bioresource Technology*. 2016;214:338–347. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.120>

References

1. Soromotin A. V., Kazantseva M. N., Kremleva T. A., Elizarova D. P., Brodt L. V., Fefilov N. N. Technogenic halogenesis of surface waters and vegetation communities as a result of mineral water discharge into a minor river water catchment area. *Regional Environmental Issues*. 2020;(1):45–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-11045> URL: <https://elibrary.ru/qcibtw>
2. Sari E. K., Nur E., Tirtaweningtias S. Effectiveness of hotel wastewater treatment and economic benefits of clean water from STP-based wastewater treatment plants. *Journal Penelitian Pendidikan IPA*. 2026;12(2):375–382. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i2.14025>
3. Vialkova E., Maksimova S., Zemlyanova M., Maksimov L., Vorotnikova A. Integrated design approach to small sewage systems in the Arctic climate. *Environmental Processes*. 2020;7:673–690. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00427-6>
4. Gupta V. K., Sadegh H., Yari M., Shahryari Ghoshekandi R., Maazinejad B., Chahardori M. Removal of ammonium ions from wastewater: A short review in development of efficient methods. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2015;1(2):71–94. URL: https://www.researchgate.net/publication/270341154_Removal_of_ammonium_ions_from_wastewater_A_short_review_in_development_of_efficient_methods
5. Aleksandrov A. S., Beshentsev V. A. Tobolsk and Cherkashinsky mineral water districts: similarities and differences. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2026;337(1):55–65. (In Russ.) <http://doi.org/10.18799/24131830/2026/1/5334>
6. Petrov S. A., Mamaeva N. L. Assessment of reserves of mineral water's geothermal sources in the south of Tyumen region. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2023;100(3):46–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/kurort202310003146>
7. Turovinina E. F., Shishina E. V., Shumasova F. K., Averin S. O. The medicinal mineral waters in the southern part of the Tyumen region. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2018;95(3):69–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/kurort201895369>
8. Liao Y., Liu Y., Wang G., Li T., Liu F., Wei S., Yan X., Gan H., Zhang W. Genesis mechanisms of geothermal resources in Mangkang geothermal field, Tibet, China: Evidence from hydrochemical characteristics of geothermal water. *Water*. 2022;14(24):4041. <https://doi.org/10.3390/w14244041>
9. Bertoldi D., Bontempo L., Larcher R., Nicolini G., Voerkelius S., Lorenz G. D., et al. Survey of the chemical composition of 571 European bottled mineral waters. *Journal of food composition and analysis*. 2011;24(3):376–385. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.07.005>
10. Jetimov M., Tokpanov Ye., Mukhitdinova R., Yessengabylova A. Geoenviromental assessment of hydro-mineral recreational resources in the eastern and southeastern parts of the Alakol lakes system. *Bulletin of the L. N. Gumilyov ENU. Chemistry. Geography Series*. 2025;153(4):91–105. <https://doi.org/10.32523/3107-278X-2025-153-4-91-105>
11. Sanz De Ojeda J., Elorza F. J., Sanz E. Interdisciplinary research for the delimitation of catchment areas of large deep karstic aquifers: origin of the thermal springs of Alhama de Aragón and Jaraba (Spain). *Water*. 2024;16(22):3303. <https://doi.org/10.3390/w16223303>
12. Pala A., Kocabiyik E., Kursun G. The statistical and technical evaluation of the wastewater treatment plants in holiday resorts. *The holistic approach to environment*. 2020;10(3):78–83. <https://doi.org/10.33765/thate.10.3.3>
13. Cano J., Ramasola A., Gucor M. A., Olaso L., Lim D., Micabalo K. Implementation of solid water and waste water management of beach resorts in Anda, Bohol, Philippines. *JPAIR Multidisciplinary Research*. 2021;45(1):177–202. <https://doi.org/10.7719/jpair.v45i1.693>
14. Zhang X., Hu J., Spanjers H., van Lier J. B. Struvite crystallization under a marine/brackish aquaculture condition. *Bioresource Technology*. 2016;218:1151–1156. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.088>
15. O'Neal J. A., Boyer T. H. Phosphate recovery using hybrid anion exchange: applications to source-separated urine and combined wastewater streams. *Water Research*. 2013;47(14):5003–5017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.037>

16. Ronteltap M., Maurer M., Hausherr R., Gujer W. Struvite precipitation from urine-Influencing factors on particle size. *Water Research*. 2010;44(6):2038-46. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.015>
17. Liu B., Giannis A., Zhang J., Chang V. W., Wang J. Y. Characterization of induced struvite formation from source-separated urine using seawater and brine as magnesium sources. *Chemosphere*. 2013;93(11):2738-47. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.025>
18. Fugaeva A. M., Vyalkova E. I. Reagent purification of domestic wastewater from ammonium ions in the conditions of Arctic decentralization of settlements. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(1):67-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-1-67-80>
19. Lobanov S. A., Poilov V. Z. Treatment of wastewater to remove ammonium ions by precipitation. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2006;79:1473-1477. <https://doi.org/10.1134/S1070427206090151>
20. Starostin A. G., Kuzina E. O., Kosukhina E. I. *Method for extraction of magnesium-ammonium-phosphate from wastewater: Patent RU 2792126 C1*. Date of publication: 16.03.2023, Bull. № 8. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2775771C1/ru>
21. Zhang X., Tao Y., Hu J., Liu G., Spanjers H., van Lier J. B. Biomethanation and microbial community changes in a digester treating sludge from a brackish aquaculture recirculation system. *Bioresource Technology*. 2016;214:338-347. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.120>



Информация об авторе

Фугаева Анастасия Михайловна, ассистент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация
nastyafugaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7097-1775>

Information about the author

Anastasiia M. Fugaeva, Assistant in the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation
nastyafugaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7097-1775>

Получена 24 марта 2026 г., одобрена 17 мая 2026 г., принята к публикации 06 июня 2026 г.
Received 24 March 2026, Approved 17 May 2026, Accepted for publication 06 June 2026