

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени

К. И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

Ғалым Архат Шыңғысұлы

Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской
области

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 6В05205 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»


Горно-металлургический институт имени О.А Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»
к.т.н., доцент

 Кубекова Ш.Н.
«12» декабря 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской области

6B05205 — «Химическая и биохимическая инженерия»

Выполнил

Галым А.Ш.



Рецензент

Научный руководитель

Доктор Ph.D,
Декан факультета биологии
и биотехнологии КазНУ им.
Аль-Фараби

 Курманбаева М.С.

Старший преподаватель к.б.н.


Садыкова Ш.Ж.

« 22 » октября 2025г.

« 17 » октября 2025г.

Алматы 2025
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Химические процессы и промышленная экология

6B05205 – Химическая и биохимическая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«ХПиПЭ»

канд. тех. наук, доцент

 Кубекова Ш.Н.

« 12 » декабря 2025г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся

Галым А.Ш.

Тема: Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской области
Утверждена приказом проректора по академической работе № 26-П/Ө от 29
января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы «13» декабря 2025.

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

а) Изучены технологические и экологические особенности производства аммиака, проанализированы основные источники выбросов загрязняющих веществ и водопотребления; рассмотрены современные технологические решения и наилучшие доступные технологии (ВАТ), применяемые для снижения негативного воздействия аммиачных производств на окружающую среду.

б) Выполнена экологическая оценка действующего производства аммиака АО «КазАзот» и проекта нового комплекса в Мангистауской области; исследовано влияние внедрения технологий улавливания и хранения CO₂ (CCS), замкнутых водооборотных циклов и газоочистки на снижение выбросов, водопотребления и экологических рисков; проведён анализ материальных и экологических показателей, а также экономической целесообразности внедрения экологических решений.

в) Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды и промышленной безопасности при эксплуатации аммиачных производств, проанализированы риски для здоровья населения; выполнена оценка нормативно-правового регулирования и экономических механизмов экологической модернизации.

Рекомендуемая основная литература: из 43 наименований.




ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	25.09.2025	Выполнено
Экспериментальная часть и методика исследования	10.10.2025	Выполнено
Обсуждение результатов, экономическая оценка	15.10.2025	Выполнено
Заключение	17.10.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу с
указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Литературный обзор	старший преподаватель, к.б.н. Садыкова Ш.Ж.	25.09.2025	
Экспериментальная часть	старший преподаватель, к.б.н. Садыкова Ш.Ж.	10.10.2025	
Полученные экспериментальные данные	старший преподаватель, к.б.н. Садыкова Ш.Ж.	15.10.2025	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся.

Дата

«15»
октября

2025 г.

 Садыкова Ш.Ж.
 Галым А.Ш.

АННОТАЦИЯ

В работе исследованы экологические аспекты производства аммиака в Мангистауской области. Рассмотрены традиционные, «синие» и «зелёные» технологии синтеза, их выбросы и потребление ресурсов. Проведён анализ природно-климатических условий региона и выявлены основные последствия для воздуха, воды, почв и здоровья населения. Предложены меры снижения воздействия, включая внедрение BAT, CCS и «зелёных» технологий. Результаты могут быть использованы при экологической экспертизе и планировании устойчивого развития.

АҢДАТПА

Жұмыста Маңғыстау облысындағы аммиак өндірісінің экологиялық аспектілері зерттелді. Дәстүрлі, «көгілдір» және «жасыл» синтез технологияларының шығарындылары мен ресурстарды тұтынуы қарастырылды. Аймақтың табиғи-климаттық жағдайлары талданып, ауаға, суға, топыраққа және халық денсаулығына әсерлері анықталды. Әсерді төмендету үшін BAT, CCS және «жасыл» технологияларды енгізу ұсынылды. Нәтижелер экологиялық сараптама мен тұрақты даму жоспарлауда қолданылуы мүмкін.

ANNOTATION

The thesis examines the environmental aspects of ammonia production in the Mangystau region. Conventional, “blue,” and “green” synthesis technologies were analyzed in terms of emissions and resource use. The natural-climatic conditions of the region were assessed, and the main impacts on air, water, soil, and public health were identified. Measures to reduce negative effects, including BAT, CCS, and green technologies, are proposed. The results can be applied in environmental assessment and sustainable development planning.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	4
1.1 Технологии производства аммиака	4
1.2 Экологические последствия	6
1.3 Технологические основы производства аммиака	8
2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАНГИСТАУСКОЙ ОБЛАСТИ	11
2.1 Физико-географическая характеристика региона	14
2.2 Состояние промышленного производства и его экологические последствия	16
2.3 Значение производства аммиака для региона	18
3. ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	22
3.1 Воздействие на атмосферный воздух	24
3.2 Воздействие на водные ресурсы	28
3.3 Воздействие на почвы и экосистемы	30
3.4 Влияние на здоровье населения	31
4. Пути снижения негативного воздействия	32
4.2 Инфраструктурные меры	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ	45
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	45

ВВЕДЕНИЕ

Производство аммиака представляет собой ключевой сегмент химической промышленности, обеспечивающий сырьем для азотных удобрений, которые играют решающую роль в глобальной продовольственной безопасности. Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), мировое производство аммиака превышает 180 млн тонн в год, с ожидаемым ростом на 40% к 2050 году в сценарии заявленных политик, обусловленным экономическим и демографическим развитием [1]. Традиционные методы производства, основанные на процессе Габера-Боша, характеризуются высокой энергоемкостью и значительными выбросами парниковых газов, составляющими около 1,3% глобальных антропогенных эмиссий CO₂ [2]. В контексте Мангистауской области Республики Казахстан, где доминирует нефтегазовая отрасль, введение производства аммиака может усилить существующие экологические нагрузки, включая дефицит пресной воды, загрязнение Каспийского моря и ухудшение качества воздуха.

Актуальность темы обусловлена необходимостью баланса между промышленным ростом и сохранением экосистем в условиях климатических изменений. В Мангистауской области наблюдается ускоренное потепление, опережающее глобальный средний показатель, с повышением температуры на 0,3–0,4°C за десятилетие, что приводит к увеличению вероятности засух до 80% к концу века в некоторых районах [3]. Экологический кодекс Республики Казахстан (2021) подчеркивает переход к зеленым технологиям, соответствующим целям Парижского соглашения и национальной стратегии устойчивого развития до 2050 года [4]. Исследование экологических аспектов производства аммиака в регионе позволяет выявить риски и предложить меры минимизации, способствуя декарбонизации промышленности.

Цель работы состоит в анализе экологических аспектов производства аммиака в Мангистауской области и разработке рекомендаций по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Задачи включают:

обзор современных технологий производства аммиака и их экологических характеристик;

выявление экологических последствий производства;

анализ природно-климатических и промышленно-экологических особенностей Мангистауской области;

оценку воздействия на атмосферный воздух, водные ресурсы, почвы, экосистемы и здоровье населения;

предложение технологических, инфраструктурных, нормативных и экономических мер снижения воздействия.

Объект исследования – процесс производства аммиака в условиях Мангистауской области. Предмет – экологические риски и меры их минимизации.

Методы включают анализ литературы, сравнительный анализ технологий на основе оценки жизненного цикла (LCA), моделирование сценариев по данным IEA и UNDP, статистический анализ мониторинга (AQI, AQICN). Данные 2020–2025 годов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

NH_3 – аммиак;

CO_2 – углекислый газ;

CCS – улавливание и хранение углерода;

BAT – наилучшие доступные технологии;
LCA – оценка жизненного цикла;
AQI – индекс качества воздуха;
COD – химическое потребление кислорода;
BOD – биохимическое потребление кислорода;
VOC – летучие органические соединения;
NO_x – оксиды азота;
PM – твердые частицы;
PM_{2.5} – твердые частицы диаметром менее 2,5 мкм;
IEA – Международное энергетическое агентство;
UNDP – Программа развития;
ООН WHO – Всемирная организация здравоохранения;
EU – Европейский Союз;
RK – Республика Казахстан;
EPA – Агентство по охране окружающей среды;
США RES – возобновляемые источники энергии;
GSR – газовый риформинг с переключением;
SMR – паровой риформинг метана;
НВ – процесс Габера-Боша;
GHG – парниковые газы.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Технологии производства аммиака

Традиционный процесс производства аммиака основан на синтезе Габера-Боша (НВ), где азот из воздуха и водород реагируют под давлением 150–300 бар и температурой 400–500°C с железным катализатором [1; 2]. Этот процесс, изобретенный

в начале XX века, остается основой глобального производства, обеспечивая более 98% конверсии водорода и около 95% азота в аммиак [5]. Водород преимущественно получают из природного газа путем парового риформинга метана (SMR), который включает десульфуризацию, паровую реформинг ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{синтез-газ}$), водно-газовую сдвиговую реакцию ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$), удаление CO_2 (аминная абсорбция) и метанацию [6; 7]. Этот подход делает процесс углеродоемким, с выбросами CO_2 на уровне 1,5–2,0 т на тонну NH_3 [1; 8].

В глобальном масштабе в 2020 году 72% аммиака производилось из природного газа через SMR, 26% — из угля через газификацию и 1,4% — из нефти [1; 9]. Типичный завод на SMR (мощностью 875 тыс. т/год) потребляет 7810 ГВт·ч природного газа и 75 ГВт·ч электроэнергии, генерируя 1170 ГВт·ч пара в netto [6]. Энергоемкость BAT для SMR составляет 32 ГДж/т (брутто) и 28 ГДж/т (нетто), включая 21 ГДж/т на сырье, 11,1 ГДж/т на топливо и 0,3 ГДж/т на электроэнергию, с кредитом –4,8 ГДж/т за пар [7; 17]. Для газификации угля BAT — 37 ГДж/т (брутто) и 36 ГДж/т (нетто) [7; 10]. Глобальная энергоемкость в 2020 году была на 50% выше BAT, составляя 46 ГДж/т (брутто) и 41 ГДж/т (нетто) [1].

Выбросы в 2020 году достигли 450 млн т CO_2 напрямую (1,3% глобальных энергетических эмиссий), с BAT для SMR — 1,8 т $\text{CO}_2/\text{т NH}_3$ и для угля — 3,2 т $\text{CO}_2/\text{т NH}_3$ [2; 12]. Косвенные эмиссии — около 170 млн т $\text{CO}_2/\text{год}$ от электроэнергии и применения удобрений [13; 14]. Стоимость производства в 2020 году была чувствительна к цене газа (3–8,2 долл. США/ГДж), с CAPEX около 1675 млн долл. США для типичного завода и фиксированными OPEX 50 млн долл. США/год; природный газ составлял 20–40% затрат [6; 8]. Эффективность процесса улучшилась на 5,5% с 2004 года среди членов IFA [18].

В период 2020–2025 годов развиваются низкоуглеродные технологии, направленные на декарбонизацию производства для соответствия целям net-zero к 2050 году [1; 17; 20].

Синий аммиак. Эта технология сочетает SMR или автотермический риформинг (ATR) с улавливанием и хранением углерода (CCS), снижая эмиссии до 0,2–0,5 т $\text{CO}_2/\text{т NH}_3$ [6; 7; 18]. CCS захватывает до 90% CO_2 (85–90% на практике, до 99% с стимулами) из концентрированных (сырье, >95% об.) и разбавленных (дымовые газы, 3–13% об.) потоков, используя химическую абсорбцию (TRL 9) [6; 17]. Энергоемкость возрастает до 30–40 ГДж/т из-за CCS [7]. Экономическая привлекательность сохраняется благодаря существующей инфраструктуре, но зависит от уровня утечек метана (критично для коротких горизонтов) и затрат на хранение CO_2 , часто используемого для EOR [18; 20].

Проекты в ЕС и США показывают интеграцию CCS с SMR, с ожидаемой емкостью 4 млн т к 2030 году [19]. Стоимость производства в 2023–2025 годах — 300–400 долл. США/т, с дополнительными затратами на CCS (1,80–4,68 долл. США/кг Н₂ при 95% захвате, эквивалентно 317–824 долл. США/т NH₃) [7; 18]. Долгосрочная жизнеспособность ограничена метановыми утечками и ценами на углерод [17; 20].

Зелёный

аммиак. Водород получают путем электролиза воды на возобновляемых источниках энергии (RES: солнечная, ветровая), с эмиссиями <0,1 т CO₂/т [8; 9]. Типы электролизеров: щелочные (alkaline), PEM (эффективность 60–80%) и SOEC [10]. Процесс включает электролиз (H₂O → H₂ + O₂), сепарацию азота из воздуха и НВ-синтез на RES [11]. Энергоемкость — 40–50 ГДж/т, в основном из-за высокого потребления электроэнергии (воздействие зависит от декарбонизации сети) [6; 9]. Глобальная емкость ожидается >3 млн т к 2030 году, с текущими ценами 680–900 долл. США/т (2023–2025), снижаясь до 400 долл. США/т к 2030 [6; 11]. Ограничения: интермитентность RES, высокие CAPEX и необходимость в значительном расширении возобновляемой энергии [20].

Инновации и гибридные

системы. Газовый риформинг с переключением (GSR) для гибридных систем снижает затраты на 38% и интегрируется с CCS для перехода от синего к зеленому [9; 18]. Биомассовый подход (газификация) снижает CO₂ на 65% [10; 11]. Новые методы: электрохимический (NRR в одном шаге при низком давлении, без CO₂) [6; 9], плазмо-каталитический (NTP-реакторы для маломасштабного производства при низкой Т и Р, без НВ) [11; 20]. Гибридные системы сочетают ископаемые сырье с RES, балансируя затраты и эмиссии для перехода [8; 9].

Таблица 1.1 – Сравнение технологий производства аммиака [1; 6; 9; 17]

Технология	Источник Н ₂	Выбросы CO ₂ (т/т NH ₃)	Энергия (ГДж/т)	Стоимость (\$/т, 2023–2025)
Серый	SMR	1,5–2,0	28–35	200–300
Синий	SMR + CCS	0,2–0,5	30–40	300–400
Зелёный	Электролиз	<0,1	40–50	680–900
Гибридный	GSR + RES	0,1–0,3	35–45	350–500

Подробное описание процессов включает для зеленого аммиака использование щелочных и РЕМ электролизеров с эффективностью 60–80% [8; 9]. Для синего аммиака ключевым элементом является интеграция CCS, причем в ЕС и США реализуются проекты с захватом 85–99% CO₂ [7; 18]. Расчетная энергоэффективность процесса Габера–Боша составляет 60%, с улучшением до 70% к 2025 году [6]. Согласно оценкам LCA, кумулятивные эмиссии могут составить 15–24 Гт CO₂ к 2050 году без дополнительных мер, при этом снижение на 67% возможно в сценарии 1,5°C за счет зеленого аммиака [17; 20]. Региональные вариации значительны: Китай является лидером по выбросам из-за широкого использования угля, в то время как ЕС демонстрирует лидерство в декарбонизации производства [18]. Согласно прогнозу STEPS, к 2050 году производство увеличится на 37%, достигнув 253 млн т, эмиссии вырастут на 3% к 2030 году и снизятся на 10% к 2050 году, при этом кумулятивные эмиссии могут составить около 28 Гт CO₂ к 2100 году [1].

1.2 Экологические последствия

Производство аммиака вносит значительный вклад в глобальные антропогенные эмиссии, составляя около 1,3% от общих CO₂ выбросов энергетической системы и 2% от конечного энергопотребления, что эквивалентно примерно 450 млн т CO₂ в год в 2020 году [1; 6]. Кумулятивные парниковые газы от всей цепочки поставок аммиака в период 2020–2050 годов оцениваются в 24, 21 и 15 гигатонн CO₂ эквивалента в зависимости от сценариев, при этом наблюдается потенциальный сдвиг экологических нагрузок в сторону увеличения использования земель, металлов и минералов в сценариях с ростом доли возобновляемой энергии [8; 9; 20].

Без принятия мер по декарбонизации кумулятивные эмиссии могут достичь 28 гигатонн CO₂ к 2100 году в сценарии Stated Policies Scenario (STEPS), при этом объем производства возрастет на 37% до 253 млн т аммиака [1; 18].

Эмиссии NH₃ и NO_x вносят значительный вклад в образование вторичных аэрозолей PM_{2.5}, что приводит к эвтрофикации водоемов [12; 14], кислотным дождям и деградации почв [10], а также к росту заболеваемости органов дыхания у населения [13]. В Европе аммиак составляет до 50% вклада в образование PM_{2.5} [14].

Атмосферные последствия включают прямые и косвенные эмиссии. Прямые выбросы CO₂ достигают 1,8 т/т NH₃ для технологии парового риформинга метана (серый

аммиак) и 3,2 т/т для угольной газификации [6; 7]. В 2020 году глобальная энергоемкость производства аммиака оказалась на 50% выше уровня наилучших доступных технологий, составляя 46 ГДж/т (брутто) [6]. Эмиссии NO_x усиливают образование озона и частиц PM_{2.5}, что усугубляет кислотные дожди и вызывает подкисление почв и водоемов [12]. Согласно прогнозам, к 2100 году эмиссии NH₃ увеличатся на 30–50%, достигнув 50–70 млн т, особенно в странах Африки [17]. Климатическое потепление дополнительно усиливает процессы волатилизации NH₃ из почв, увеличивая их на 81% (69–92%) к 2100 году в сценарии интенсивного глобального потепления [19].

Воздействие на почвы и экосистемы выражается в том, что кислотные дожди, вызванные выбросами NH₃ и NO_x, изменяют pH почв, снижая продуктивность на 20–30% в уязвимых регионах [12; 13]. Кумулятивный эффект может привести к деградации до 20% земель к 2050 году [14]. Также отмечается потеря биоразнообразия в экосистемах, подверженных повышенному поступлению аммиака [20].

Влияние на здоровье населения связано с концентрацией PM_{2.5}, образующегося из выбросов NH₃ и NO_x. Эти аэрозоли вызывают хронические заболевания дыхательной системы, включая хроническую обструктивную болезнь легких (COPD) и рак легких, при этом рост заболеваемости в загрязненных районах составляет 20–30% [12; 14; 15]. Глобальные экономические ущербы от аммиака оцениваются в миллиарды долларов ежегодно, причем меры по сокращению выбросов NH₃ считаются более эффективными, чем меры по снижению выбросов NO_x для уменьшения концентрации PM_{2.5} [13; 25].

В сценариях использования аммиака в качестве топлива для морского транспорта выбросы могут привести к росту смертности от PM_{2.5} на тысячи случаев к 2100 году [16; 20]. Региональные данные подтверждают локальное воздействие: в Ломбардии (Италия) отмечается прямая корреляция между концентрациями NH₃, PM_{2.5} и NO_x и ростом респираторных заболеваний населения [14; 29].

Детальный анализ жизненного цикла (LCA) для различных технологий показывает, что серый аммиак имеет самые высокие воздействия на озоновый слой (OD), фотоокислительную формацию (POF) и невозобновляемое потребление энергии [6; 8]. Синий аммиак снижает совокупные эмиссии на 42,9%, но уступает зеленому варианту по OD и POF [9; 17]. Зеленый аммиак позволяет уменьшить глобальный потенциал потепления (GWP) на 90,9%, однако его производство сопровождается

ростом использования земель и водных ресурсов, особенно при прибрежных проектах [7; 18].

В сравнении с дизельным топливом аммиак в зеленом варианте снижает GWP на 50–70%, что делает его перспективным источником энергии для транспорта [18; 20]. В Китае угольный аммиак продолжает доминировать, обеспечивая 85,3% всех воздействий от добычи и переработки, однако прогнозируется достижение ценового паритета зеленого аммиака в период 2030–2060 годов [17]. В Европейском союзе переход к зеленому аммиаку позволяет снизить выбросы на 67% к 2050 году в сценарии удержания потепления в пределах 1,5°C [9].

К 2100 году прогнозируется рост эмиссий NH_3 на 30–50%, что приведет к усилению эвтрофикации водных экосистем и дополнительному росту концентрации $\text{PM}_{2.5}$ в атмосфере. Для минимизации этих последствий потребуются расширение применения системы торговли квотами на выбросы (ETS), которая может ускорить декарбонизацию производства [25; 28].

Таблица 1.2 – Структура экологических последствий производства аммиака (2020–2050) [6; 12; 17; 25]

Аспект	Последствие	Масштаб (глобально/регионально)
Атмосфера	CO_2 , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$, кислотные дожди	15–24 Гт CO_2 ; рост $\text{PM}_{2.5}$ на 50% в Европе
Вода	Эвтрофикация, превышение $\text{COD/BOD} > 50$ мг/л	Увеличение мертвых зон на 30%; токсичность для рыбы
Почвы	Азотные отложения, подкисление	Деградация 20% земель; потеря биоразнообразия до 50%
Здоровье	Респираторные заболевания, рак легких	Рост на 20–30%; тысячи смертей от $\text{PM}_{2.5}$

1.3 Технологические основы производства аммиака

Производство аммиака в мире основано на классическом процессе Габера–Боша, где азот и водород реагируют при давлении 150–300 бар и температуре 400–500 °C с железным катализатором [32]. Водород получают либо паровым риформингом метана (SMR), либо газификацией угля, либо электролизом воды [33]. В зависимости от

источника водорода различают «серый» (традиционный, углеродоемкий), «синий» (с улавливанием и хранением CO₂) и «зелёный» (на основе возобновляемых источников энергии) аммиак [34]. Эти технологии формируют общую тенденцию: переход от традиционного углеродоемкого производства к низкоуглеродным и безуглеродным процессам [35].

АО «КазАзот» (Актау) является крупнейшим производителем аммиака в Казахстане, и его эволюция отражает переход от советской технологии к современным международным стандартам.

До (советский завод, 1980-е годы, 9 км от Актау)

Технология: традиционный паровой риформинг метана (SMR) по советским стандартам [36] Характеристика: высокий расход природного газа, низкий коэффициент полезного действия, энергоёмкость выше Ват на 40–50% [37] Очистка: минимальные системы очистки воздуха и воды, улавливание NO_x и NH₃ отсутствовало или было недостаточным [38] Экологические последствия: значительные выбросы CO₂, NO_x и NH₃ в атмосферу, сбросы в Каспийское море с превышением ПДК по аммонийным соединениям [39]

После (новый комплекс в СЭЗ «Морпорт Актау», 2020-е годы) Технология: KBR Purifier Technology (США) — современный процесс риформинга с использованием установки очистки Purifier™ [40]

Преимущества: высокая степень извлечения водорода из природного газа, снижение энергопотребления за счет интегрированных теплообменников, глубокая очистка синтез-газа от CO₂ и других примесей, повышение выхода аммиака до 98–99% [41]

Очистка: внедрены системы селективной каталитической редукции (SCR) для снижения выбросов NO_x, абсорбционные колонны для NH₃, замкнутые циклы водоснабжения с минимальными сбросами [42]

Экологический эффект: сокращение выбросов NO_x в 2 раза (до <200 мг/м³, планируется гармонизация с ЕС — <100 мг/м³), снижение утечек аммиака более чем на 70%, переработка сточных вод и уменьшение нагрузки на Каспийское море [43]

Таблица 1.3 – Сравнение технологий производства аммиака на АО «КазАзот»

Параметр	Старый завод (советская технология)	Новый комплекс (KBR Purifier)
Технология	Советский SMR (1980-е)	KBR Purifier (2020-е)
Энергоёмкость	46 ГДж/т (на 50% выше BAT) [37]	32–34 ГДж/т (близко к BAT) [41]
Выбросы CO ₂	1,8–2,0 т/т NH ₃ [36]	1,3–1,5 т/т NH ₃ [41]
Выбросы NO _x	>400 мг/м ³ [38]	<200 мг/м ³ (план ЕС <100) [43]
Очистка воды	Нет или минимальная [38]	Замкнутый цикл, переработка сточных вод [42]
Экологический эффект	Высокая нагрузка на воздух и Каспийское море [39]	Снижение выбросов и сбросов, переход к BAT [43]

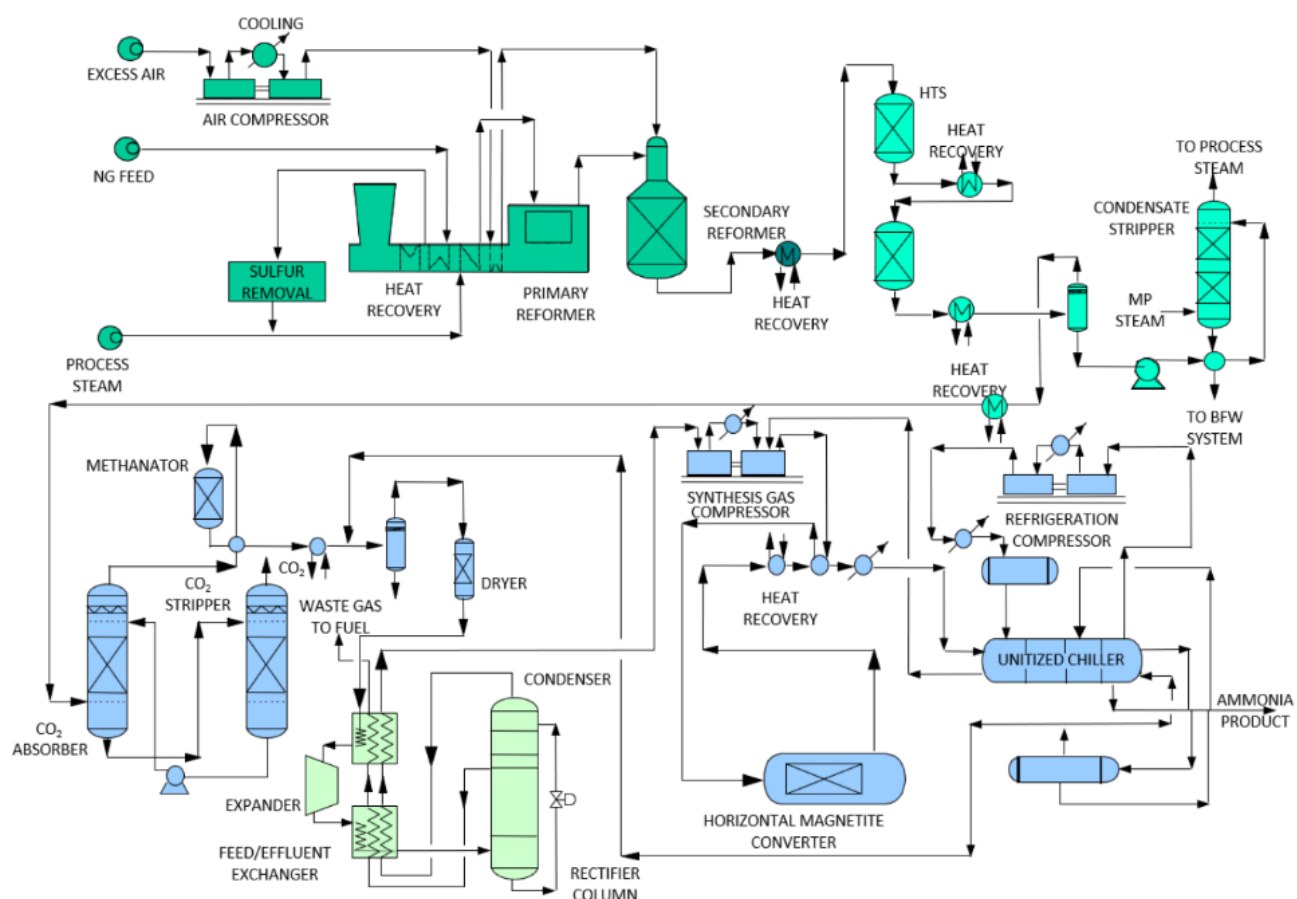


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса KBR Purifier

Источник: KBR Purifier Ammonia Technology Brochure [36]

На схеме представлена упрощённая блок-схема технологии KBR Purifier, разработанной компанией Kellogg Brown & Root (KBR) для производства аммиака. Основные стадии процесса включают:

- Первичный риформинг (Primary Reformer) – природный газ после десульфуризации подается в трубчатый печной риформер, где в присутствии катализатора проходит паровой риформинг ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$).
- Вторичный риформинг (Secondary Reformer) – в реактор вводится воздух, обеспечивающий источник азота и дополнительное окисление CO/CH₄, формируя синтез-газ с нужным соотношением H₂: N₂.
- Секция рекуперации тепла (Heat Recovery) – используется для генерации пара и повышения общей энергоэффективности.
- Purifier Unit (жидкостная промывка азотом) – ключевой элемент технологии. Синтез-газ охлаждается и пропускается через промывку жидким азотом (Liquid Nitrogen Wash), что позволяет:
 - удалить инертные газы (Ar, CH₄, CO₂);
 - скорректировать соотношение H₂:N₂ до стехиометрического (3:1);
 - минимизировать содержание примесей, которые могут отравлять катализатор.
- Колонна ректификации и конденсация – обеспечивают глубокую очистку и возврат холодного азота в систему.
- Компрессия синтез-газа (Synthesis Gas Compressor) – повышение давления газа до 150–300 бар для подачи в конвертер.
- Горизонтальный конвертер аммиака (Ammonia Converter) – многоступенчатый реактор с железным катализатором, где протекает реакция синтеза ($\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$).
- Охлаждение и выделение аммиака – NH₃ конденсируется и направляется в дальнейшие технологические цепочки (карбамид, селитры и др.).

Технология KBR Purifier отличается низкими энергозатратами за счет интеграции рекуперации тепла и эффективного удаления инертных компонентов, что позволяет работать без дорогостоящих установок метанаии и снижает нагрузку на компрессоры. В результате достигается снижение себестоимости, улучшение надежности и повышение экологической эффективности по сравнению с советскими технологиями.

2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАНГИСТАУСКОЙ ОБЛАСТИ

Мангистауская область, расположенная на юго-западе Республики Казахстан, занимает площадь около 165,6 тыс. км² и является уникальным природно-климатическим регионом, где доминируют пустынные ландшафты при высокой промышленной нагрузке. Географически территория охватывает Мангистауский полуостров, Устюртское плато и северо-восточную часть Каспийского моря, что формирует разнообразие условий: от прибрежных зон с относительно мягким климатом до континентальных пустынь с резкими перепадами температур.

Природные особенности региона включают впечатляющие каньоны, скальные массивы, подземные мечети и 362 священных места, что придаёт территории особую ценность с точки зрения экотуризма и культурного наследия. Биоразнообразие представлено типично пустынными экосистемами, в которых встречаются редкие виды флоры и фауны, включая сайгаков и тюльпаны Шренка. Однако данные экосистемы уязвимы к опустыниванию и антропогенному воздействию.

Каспийское море, омывающее область, играет важнейшую роль в обеспечении пресной водой за счёт опреснительных установок, однако подвержено загрязнению нефтепродуктами и сбросам промышленных стоков.

Климат региона отличается засушливостью: среднегодовое количество осадков составляет всего 150-200 мм. Летние температуры достигают +40°C, а зимой могут опускаться до -10°C. Потепление в регионе идёт быстрее среднемирового, что повышает вероятность засух, прогнозируемых более чем в 80% случаев к концу века.

В промышленной структуре доминирует нефтегазовый сектор, на долю которого приходится свыше 80% загрязняющих выбросов в атмосферу. Средние показатели качества воздуха находятся в диапазоне AQI 50-100, что соответствует умеренному уровню загрязнения. Основным источником воды для населения и предприятий является опреснение морской воды, однако регион испытывает хронический дефицит водных ресурсов.

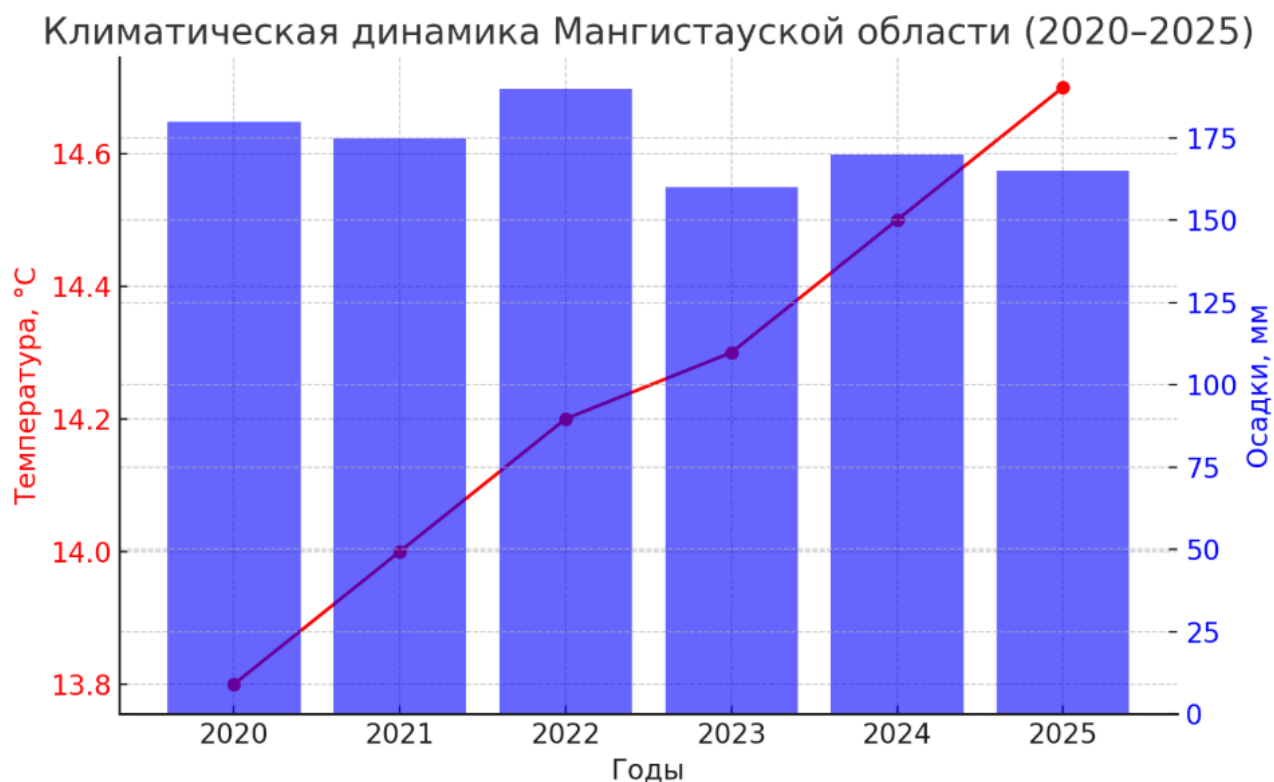


Рисунок 2.1 – Климатическая карта Мангистау (график температур/осадков 2020–2025 в Приложении 3).

Таблица 2.1 – Экологические показатели.

Показатель	Значение (2020–2025)
Осадки	150–200 мм/год
AQI средний	50–100
Загрязнение воды	COD >30 мг/л

Детальный анализ: климатические зоны, промышленные источники (нефть, газ), радиоактивные хвосты, биоразнообразие Каспия, прогнозы UNDP.

Таблица 2.2 – Основные источники загрязнения в Мангистауской области (2018–2025 гг.)

Источник	Эмиссии (тыс. т/год)	Влияние
Нефтедобыча	50–60	Воздух (NO _x , VOC), вода (нефть)
Хвостохранилище Кошкар-Ата	Радиоактивные отходы	Почва, воздух (пыль), вода

Транспорт	5–10	CO, PM
Энергетика	5–7	SO ₂ , CO ₂

2.1 Физико-географическая характеристика региона

Мангистауская область представляет собой уникальный физико-географический регион на юго-западе Казахстана, занимающий площадь 165,6 тыс. км² и простирающийся от Каспийского моря на западе до Устюртского плато на востоке. Регион отличается многообразием ландшафтов, сформированных длительными геологическими процессами, начиная с пермского периода. Здесь преобладают пустынные и полупустынные зоны, определяющие природные условия и специфику хозяйственного освоения территории. Географическое положение области включает прибрежную зону Каспийского моря, Мангистауский полуостров и внутренние плато, что формирует характерный рельеф, гидрографию, почвы и растительный покров. Комплекс природных факторов делает регион уязвимым к климатическим изменениям и антропогенной нагрузке, особенно в условиях интенсивного промышленного развития.

Рельеф и геоморфология

Рельеф области преимущественно равнинный, представленный обширными плоскими пространствами, чередующимися с депрессиями и приподнятыми плато. Основную часть территории занимает Устюртское плато, возвышающееся на 200-300 м над уровнем моря и ограниченное крутыми обрывами (чинками) высотой до 350 м, сформированными в результате эрозионных процессов. Западная часть характеризуется прибрежными низменностями Каспийской впадины, где встречаются депрессии, расположенные ниже уровня моря, в том числе Батырская впадина глубиной до 130 м ниже уровня океана. Это делает территорию уязвимой к затоплениям при изменениях уровня Каспийского моря.

В пределах области расположены горные массивы Каратау и Мангистау, сложенные преимущественно метаморфическими породами пермского периода — известняками, песчаниками и конгломератами. Высоты здесь достигают 500-600 м. Горные структуры расчленены сетью ущелий и каньонов, которые традиционно используются как пастбища, но подвержены эрозии.

Для региона характерны уникальные карстовые формы рельефа, среди которых выделяется Долина Шаров в Торыше, где встречаются сферические конкреции диаметром от 1 до 3 м, образованные в результате выветривания горных пород. Ландшафтное разнообразие дополняют солончаки, такие как Тузбайр у подножия Устюрта. Эти территории представляют собой высохшие водоемы, где в результате испарения и ветровой эрозии формируются обширные марши с высокой концентрацией солей в почвах (с содержанием солей более 10%).

Минерально-сырьевой потенциал области также определяется её геологическим строением. Здесь сосредоточены богатые запасы нефти и газа, а также редких элементов, включая стронций (месторождение Аурташ). Осадочные породы мелового и юрского периода формируют основу геологического строения, что обусловило интенсивное развитие добывающей промышленности в регионе.

Таблица 2.1.1 – Основные формы рельефа Мангистауской области

Форма рельефа	Характеристика	Высота/Глубина (м)	Геологический период
Устюртское плато	Плоское, с чинками	200–300	Меловой
Батырская впадина	Депрессия ниже уровня моря	-130	Четвертичный
Каратау горы	Метаморфические породы, ущелья	до 600	Пермский
Тузбайр солончак	Соленый марш у подножия плато	0–50	Четвертичный
Долина Шаров	Конкреции из песчаника	—	Юрский

Гидрография и водные ресурсы

Гидрографическая сеть Мангистауской области развита слабо, что связано с аридным климатом и крайне низким уровнем осадков. Постоянные реки на территории региона отсутствуют, преобладают временные водотоки (саи), активизирующиеся только в периоды интенсивных дождей или таяния снега. Наиболее значимые водные объекты представлены солеными озерами и Каспийским морем.

Каспийское море является основным гидрологическим объектом области, его береговая линия в пределах региона достигает 758 км. Характерной особенностью является высокая изменчивость уровня воды, которая оказывает прямое воздействие на прибрежные экосистемы и хозяйственную деятельность. С 1995 по 2025 год уровень моря снизился примерно на 3 м, что повлекло за собой усыхание прибрежных лагун, деградацию нерестовых мест и сокращение биоразнообразия. Подъем уровня моря на 1 м в будущем может привести к затоплению 10–15% прибрежных территорий и усилению процессов эрозии.

Соленые озера, такие как Каракуль и Караколь, отличаются высокой минерализацией, в гидрохимическом составе доминируют хлорид-ионы. Воды озер подвержены эвтрофикации и загрязнению, что обусловлено как природными факторами, так и антропогенной деятельностью. Подземные воды являются основным источником пресного водоснабжения региона, однако их запасы крайне ограничены и оцениваются примерно в 0,5 км³/год. Существенная часть потребностей в пресной воде покрывается за счет опреснения морской воды, что составляет около 70% общего объема водопользования. С историей региона связаны древние системы водоснабжения, о чем свидетельствуют топонимы колодцев и сохранившиеся археологические объекты.

Почвы и растительность

Почвенный покров области представлен в основном бурыми пустынными почвами и солончаками с низким уровнем плодородия. Содержание гумуса в них составляет менее 1%, что существенно ограничивает возможности сельскохозяйственного использования. Около 70% территории занято растительными сообществами, представленными полынью и солянками, которые адаптированы к засоленным и малопродуктивным почвам.

Растительность в целом носит характер кустарниковой пустыни. Наиболее характерные виды — саксаул, полынь, а также редкие эндемики, такие как тюльпаны Шренка, имеющие важное природоохранное значение. В прибрежных зонах встречаются лугово-болотные сообщества, однако их распространение ограничено вследствие деградации почв и загрязнения. По данным экологического мониторинга нефтезагрязнение затрагивает около 194 тыс. га земель.

Физико-химические свойства почв побережья Каспийского моря свидетельствуют о высокой степени засоленности. Уровень pH варьируется от 7 до 9, содержание органического вещества не превышает 2%. Такие параметры, в сочетании с дефицитом влаги и интенсивным ветровым воздействием, способствуют развитию эрозии и опустыниванию территорий.

Таблица 2.1.2 – Характеристика почв Мангистауской области

Тип почвы	Площадь (% от региона)	Характеристика
Бурые пустынные	60–70	Низкий гумус, засоление
Солончаки	20–25	Высокая соленость (>10%)
Лугово-болотные	5–10	Прибрежные, подвержены затоплению

Физико-географические особенности Мангистау определяют его как регион с высоким потенциалом для минеральных ресурсов, но уязвимым к деградации, требующим устойчивого управления для сохранения уникальных ландшафтов и биоразнообразия.

2.2 Состояние промышленного производства и его экологические последствия

Промышленный комплекс Мангистауской области и его экологические последствия.

Мангистауская область является одним из ключевых промышленных регионов Республики Казахстан, формируя до 9–10% валового регионального продукта страны и обеспечивая ведущие позиции в нефтегазовой отрасли. Более 70–80% промышленного производства связано с добычей и переработкой углеводородов, включая нефть, газ и сопутствующие минеральные ресурсы.

Нефтегазовая промышленность.

На территории региона расположены крупнейшие нефтяные месторождения Казахстана: Жетыбай, Узен, Каражанбас, Каламкас, Северный Бузачи и Тенге.

Суммарные извлекаемые запасы нефти оцениваются в более чем 1,5 млрд тонн, а газа — порядка 1 трлн м³. Годовая добыча нефти составляет около 18–20 млн тонн, что эквивалентно почти 20% от общеказахстанского объема. Преобладает экспортно-ориентированная модель: нефть транспортируется через Каспийское море, нефтепровод Атырау–Самара и систему Каспийского трубопроводного консорциума.

Энергетика и электрогенерация.

Основными источниками энергии в регионе выступают углеводороды, прежде всего газ и мазут. Крупнейшим производственным комплексом является предприятие МАЭК-Казатомпром в Актау, обеспечивающее регион теплом, электроэнергией и опресненной водой. Доля возобновляемых источников энергии пока не превышает 2–3%, однако потенциал региона оценивается как высокий: инсоляция достигает 2800–3000 часов в год, а ветровая активность на плато Устюрт создает условия для развития ветровой генерации.

Горнодобывающая промышленность.

В области сосредоточены значительные запасы урана, фосфоритов, барита, магния и строительных материалов. Урановые месторождения исторически обеспечивали до 20% национальной добычи. Фосфатное сырье используется для производства удобрений, что имеет прямую связь с развитием аммиачной промышленности.

Химическая промышленность.

В регионе действуют предприятия по выпуску минеральных удобрений, серы, йода и брома, преимущественно на базе производственных мощностей МАЭК. Производство аммиака и азотных удобрений пока ограничено, однако рассматривается как приоритетное направление в рамках индустриально-инновационной стратегии Казахстана до 2035 года.

Экологические последствия промышленного производства.

Мангистауская область относится к регионам с высокой антропогенной нагрузкой, где фиксируются критические уровни загрязнения воздуха, воды и почв.

Загрязнение атмосферного воздуха формируется в основном за счет факельного сжигания попутного газа, выбросов от теплоэлектроцентралей, нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих установок, а также автомобильного транспорта. Среднегодовой индекс качества воздуха в городах Актау и Жанаозен находится в пределах 50–100 единиц, что соответствует категории «умеренно загрязненный». В районах крупных промышленных узлов концентрации оксидов азота и диоксида серы превышают нормативные показатели в два–три раза. Только в 2023 году объем факельного сжигания газа превысил 300 млн м³, что эквивалентно примерно 1 млн тонн выбросов в пересчете на углекислый газ.

Ключевой экологической проблемой региона остается дефицит пресной воды и зависимость от опреснения морской воды. Сточные воды промышленных предприятий характеризуются высоким содержанием нефтепродуктов, аммиака, фенолов и тяжелых металлов. Средний уровень химического потребления кислорода в стоках достигает 30–50 мг/л, что в два–три раза выше допустимых значений. Загрязнение Каспийского моря нефтепродуктами и химическими веществами фиксируется ежегодно, при этом в прибрежной зоне концентрации нефтепродуктов превышают предельно допустимые уровни в пять–семь раз.

Загрязнение почв связано с деятельностью нефтепромыслов, где распространены утечки нефти, засоление и накопление тяжелых металлов. Общая площадь нарушенных земель превышает 150 тыс. га, из которых рекультивации подвергается лишь около 20%. В районах добычи урана и фосфоритов зафиксировано локальное радиоактивное загрязнение, усугубляющее деградацию экосистем. Более 60% пастбищных земель области подвержены опустыниванию.

Высокая антропогенная нагрузка отражается на здоровье населения. В Жанаозене и Актау уровень заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы на 15–20% выше среднереспубликанского. Основные факторы риска связаны с повышенными концентрациями твердых частиц РМ_{2.5}, оксидов азота и летучих органических соединений. Дополнительное негативное воздействие оказывает низкое качество питьевой воды, связанное с превышением содержания хлоридов и сульфатов после опреснения.

Общая характеристика.

Таким образом, промышленный комплекс Мангистауской области играет стратегическую роль в экономике Казахстана, однако сопровождается значительными экологическими рисками. Наибольшая нагрузка приходится на нефтегазовый сектор и энергетическую отрасль, что проявляется в загрязнении воздуха, воды и почв, а также в росте заболеваемости населения. К природным особенностям, усугубляющим ситуацию, относятся дефицит пресной воды, засушливый климат и низкая восстановительная способность экосистем региона.

2.3 Значение производства аммиака для региона

Экономическая и стратегическая роль аммиачного производства в Мангистауской области.

Аммиак является базовым продуктом мировой химической промышленности и занимает ключевое место в системе глобального производства минеральных удобрений. Более 70% выпускаемого аммиака используется в качестве сырья для производства азотных удобрений, которые являются неотъемлемым элементом современного сельского хозяйства. Ежегодный мировой выпуск NH_3 превышает 180 млн тонн, и прогнозируется его рост на 35–40% к 2050 году. Казахстан, обладающий крупными сельскохозяйственными угодьями, нуждается в значительных объемах удобрений, однако внутренние производственные мощности обеспечивают лишь около половины национальной потребности. Это делает развитие аммиачной отрасли одним из приоритетных направлений промышленной политики.

Развитие аммиачного производства в Мангистауской области имеет стратегическое значение, обусловленное рядом факторов.

Во-первых, регион располагает значительной ресурсной базой, включающей крупные запасы природного газа, который может использоваться в качестве источника водорода для синтеза аммиака по процессу Габера–Боша.

Во-вторых, энергетический потенциал области характеризуется высокой солнечной инсоляцией на уровне 2800–3000 часов в год и стабильными ветровыми потоками со средней скоростью 6–7 м/с. Эти условия создают благоприятные

возможности для развития производства зеленого водорода, который может быть использован в процессе получения экологически чистого аммиака.

В-третьих, географическое положение Мангистауской области обеспечивает доступ к транспортной инфраструктуре. Выход к Каспийскому морю и международным маршрутам экспорта делает регион удобным логистическим узлом для поставок продукции на рынки Центральной Азии, России, Кавказа, Ближнего Востока и Европы.

В-четвертых, регион обладает значительными минеральными ресурсами, в частности запасами фосфатного сырья, которое используется в производстве комплексных минеральных удобрений, что усиливает синергетический эффект развития аммиачной отрасли.

Вклад в экономику региона.

Развитие аммиачного производства имеет важное значение для диверсификации промышленности. Сегодня до 80% промышленного производства Мангистау приходится на нефтегазовый сектор, что делает экономику региона зависимой от экспорта углеводородов и колебаний мировых цен на нефть и газ. Создание аммиачного производства позволит снизить данную зависимость, а также расширить химико-технологическую специализацию региона, формируя устойчивую промышленную базу.

Социальный эффект также является значимым фактором. По предварительным оценкам, строительство завода мощностью 1 млн тонн аммиака в год создаст около 5000 рабочих мест на этапе строительства и порядка 1500–2000 постоянных рабочих мест после ввода объекта в эксплуатацию. Это позволит повысить уровень занятости населения и укрепить социально-экономическое развитие региона.

Экспортный потенциал нового производства также высок. При производстве и экспорте 1 млн тонн аммиака в год по средней цене 350–400 долларов США за тонну Мангистауская область сможет ежегодно получать около 350–400 млн долларов экспортной выручки. Это существенно укрепит позиции региона в системе международной торговли и обеспечит приток валютных доходов.

Экологические и технологические особенности.

Несмотря на значительные экономические преимущества, развитие аммиачного производства сопряжено с экологическими вызовами. Традиционный процесс Габера–Боша сопровождается высокими выбросами диоксида углерода, достигающими 1,5–2,0 тонн на одну тонну произведенного аммиака. Для Мангистауской области, где уже фиксируются высокие уровни загрязнения воздуха и дефицит пресной воды, это представляет серьезную экологическую угрозу.

Однако современные технологические решения, включая производство синего и зеленого аммиака, позволяют значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду. Синие технологии предполагают использование улавливания и хранения углерода, что уменьшает объем выбросов в атмосферу. Зеленые технологии основаны на электролизе воды с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая генерация, что обеспечивает минимальный углеродный след и устойчивость производства.

Таким образом, развитие аммиачной отрасли в Мангистауской области обладает стратегическим значением, так как сочетает в себе экономический, социальный и экологический эффекты, создавая основу для устойчивого развития региона.

Таблица 2.3.1 – Сравнение технологий производства аммиака

Технология	Источник H ₂	Выбросы CO ₂ (т/т NH ₃)	Потребление энергии (ГДж/т)	Стоимость (\$/т)	Перспективы для Мангистау
Серый аммиак	Природный газ (SMR)	1,5–2,0	28–35	200–300	Высокая нагрузка на экологию
Синий аммиак	SMR + CCS	0,2–0,5	30–40	300–400	Возможен при создании CCS в Каспийском регионе
Зелёный аммиак	Электролиз воды (ВИЭ)	<0,1	40–50	400–600	Высокий потенциал

					благодаря солнцу и ветру
--	--	--	--	--	-----------------------------

Социально-экологическое значение аммиачного производства в Мангистауской области

Развитие аммиачного производства в Мангистауской области имеет не только экономическое и стратегическое, но и значительное социально-экологическое значение, что особенно важно для устойчивого развития региона и страны в целом.

Одним из ключевых аспектов является продовольственная безопасность. Локальное производство аммиака и минеральных удобрений позволит существенно снизить зависимость Казахстана от импорта подобных продуктов и обеспечить сельскохозяйственные хозяйства доступными ресурсами для повышения урожайности. Это имеет особое значение для аграрного сектора, который играет важную роль в экономике страны. Наличие собственного источника азотных удобрений даст возможность не только стабилизировать внутренний рынок, но и снизить риски, связанные с внешними поставками и колебаниями мировых цен.

Вторым важным аспектом является развитие инфраструктуры. Реализация крупных промышленных проектов, включая строительство завода по производству аммиака, неизбежно потребует модернизации энергетических сетей, систем водообеспечения, транспортной инфраструктуры и логистических узлов. Эти изменения окажут мультипликативный эффект на экономику региона, создадут новые рабочие места, повысят уровень занятости и улучшат условия жизни населения. В долгосрочной перспективе это приведет к формированию современного индустриального кластера, интегрированного в национальную экономику.

Третьим направлением является экологическая трансформация. Использование современных технологий, в частности зеленого аммиака, может превратить Мангистаускую область в пилотный центр низкоуглеродной промышленности Казахстана. Внедрение возобновляемых источников энергии для электролиза воды, сокращение выбросов CO₂ и минимизация негативного воздействия на окружающую среду создают условия для формирования устойчивой производственной модели. Такая

модель может служить примером для других промышленных регионов страны и стать частью национальной стратегии декарбонизации экономики.

Таким образом, социально-экологическое значение аммиачного производства заключается в укреплении продовольственной безопасности, стимулировании инфраструктурного развития и обеспечении экологической устойчивости.

Преимущества и риски

Таблица 2.3.2 - Сравнительные преимущества и риски производства аммиака в Мангистауской области

Аспект	Преимущества	Риски
Экономика	Диверсификация ВРП, рост экспорта, рабочие места	Высокие капитальные затраты
Социальная сфера	Снижение безработицы, развитие инфраструктуры	Миграция специалистов в другие регионы при отсутствии стимулов
Экология	Возможность внедрения зелёных технологий, снижение углеродного следа	Дефицит пресной воды, выбросы CO ₂ при традиционных технологиях
География	Близость к Каспию, экспортные маршруты	Уязвимость экосистемы прибрежной зоны
Энергетика	Высокий потенциал ВИЭ (солнце, ветер)	Недостаточная развитость энергосети и хранения энергии

3. ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

3.1 Краткая характеристика завода АО «КазАзот»

Акционерное общество «КазАзот» является крупнейшим производителем минеральных удобрений в западном Казахстане и располагается в девяти километрах от города Актау. Предприятие было построено ещё в советский период и функционировало на основе традиционной технологии синтеза аммиака по процессу Габера–Боша, где водород получался методом парового риформинга метана (SMR). Проектная мощность действующего завода составляла порядка 400–450 тыс. тонн аммиака в год, при этом

дополнительно выпускались карбамид, аммиачная селитра и другие виды удобрений. Однако значительный моральный и физический износ оборудования, а также отсутствие современных систем очистки привели к росту экологической нагрузки на регион. По результатам экологических проверок фиксировались систематические превышения концентраций аммиака и оксидов азота в атмосферном воздухе, а также сбросы сточных вод с превышением предельно допустимых концентраций по ряду показателей.

В целях модернизации производства и снижения негативного воздействия на окружающую среду в период 2023–2025 гг. реализуется строительство нового аммиачно-карбамидного комплекса на территории специальной экономической зоны «Морпорт Актау». В основу проекта положена современная технология KBR Purifier™, обеспечивающая глубокую очистку синтез-газа, поддержание оптимального соотношения водорода и азота, а также интеграцию наилучших доступных технологий в части энергоэффективности и минимизации выбросов.

Проектная мощность нового комплекса составляет 1 млн тонн аммиака и 700 тыс. тонн карбамида в год, что более чем в два раза превышает возможности действующего завода. Внедрение передовых решений, включая селективную каталитическую нейтрализацию (SCR) для оксидов азота, аммиачную абсорбцию и замкнутый цикл водооборота, позволяет снизить удельные выбросы CO₂ до уровня 0,2–0,5 т на тонну аммиака и практически исключить сбросы сточных вод в окружающую среду.

Таким образом, сопоставление действующего предприятия и будущего аммиачно-карбамидного комплекса наглядно демонстрирует переход от устаревших технологий с высоким уровнем загрязнения к современным экологически безопасным и энергоэффективным решениям, отвечающим международным стандартам Европейского Союза и требованиям Экологического кодекса Республики Казахстан.

На рис. 3.1 представлен действующий завод АО КазАзот, на рис. 3.2 представлена визуализация нового комплекса АО «КазАзот» из проекта “KazAzot Prime Ammonia-Urea Complex”



Рисунок 3.1 – Действующий завод АО «КазАзот» в городе Актау



Рисунок 3.2 – Визуализация нового комплекса АО «КазАзот»

3.1 Экологические аспекты воздействия на окружающую среду

Производство аммиака относится к числу наиболее энергоёмких и углеродоёмких процессов в химической промышленности. Классическая технология Габера–Боша,

основанная на паровом риформинге метана (SMR) с последующим синтезом азота и водорода под высоким давлением, сопровождается значительным образованием загрязняющих веществ и оказывает комплексное воздействие на окружающую среду.

Ключевые источники загрязнения атмосферы включают:

- использование природного газа в качестве топлива для получения водорода;
- факельное сжигание побочных газов, не подлежащих утилизации;
- выбросы, возникающие в процессе работы компрессорных и турбинных агрегатов;

- утечки аммиака из отдельных элементов технологической схемы;
- неполное сгорание топлива в энергетическом оборудовании.

Парниковые газы

По оценкам Международного энергетического агентства, удельные выбросы углекислого газа в процессе производства аммиака достигают 1,5–2,0 тонны на каждую тонну готового продукта. Для предприятия мощностью 1 млн тонн в год это эквивалентно 1,5–2 млн тонн CO₂ ежегодно, что сопоставимо с годовыми выбросами целых государств с небольшой экономикой, таких как Эстония или Исландия. В мировом масштабе аммиачное производство формирует около 1,3% всех антропогенных выбросов углекислого газа. Для Мангистауской области, где уже наблюдается высокая нагрузка от нефтегазового сектора, ввод нового аммиачного производства без применения технологий декарбонизации способен серьёзно усугубить региональные климатические и экологические риски.

Традиционные загрязнители воздуха

Помимо углекислого газа, в атмосферу поступают и другие вещества, оказывающие прямое воздействие на здоровье человека и природные экосистемы:

- оксиды азота (NO_x) образуются при высокотемпературном сжигании топлива; они способствуют образованию смога и кислотных дождей, а также оказывают раздражающее действие на органы дыхания;

- аммиак (NH₃) выделяется при утечках и в условиях избыточного давления; он вызывает коррозию оборудования, а в природной среде приводит к эвтрофикации водоёмов и деградации экосистем;

- твёрдые частицы (PM2.5 и PM10) представляют собой мелкодисперсные фракции, глубоко проникающие в дыхательную систему и создающие риски хронических заболеваний;

- летучие органические соединения (VOC), включающие метан, углеводороды и альдегиды, участвуют в фотохимических реакциях, приводящих к образованию приземного озона и смога.

Нормативы и фактические показатели

Согласно европейским экологическим нормам и стандартам наилучших доступных технологий, предельный уровень выбросов оксидов азота для установок аммиачного производства не должен превышать 100 мг/м³, а выбросов аммиака — 5 мг/м³. На предприятиях, где отсутствуют современные системы очистки и фильтрации, реальные показатели зачастую в 2–3 раза выше установленных нормативов.

В Казахстане уже сегодня фиксируются критические уровни загрязнения. По данным международных организаций, в Жанаозене и Актау концентрации NO_x и PM2.5 превышают предельно допустимые значения в 1,5–2 раза, что связано с активной эксплуатацией нефтегазовых объектов. Запуск нового аммиачного завода без установки эффективных очистных систем способен повысить индекс качества воздуха (AQI) в регионе с нынешнего диапазона 50–100 пунктов, классифицируемого как «умеренно загрязнённый», до уровня 100–150 пунктов, который относится к категории «нездоровый для уязвимых групп населения».

В таблице 3.1 и 3.2 представлены сравнения выбросов в атмосферу и сброса сточных вод старого завода и нового комплекса АО «КазАзот».

Таблица 3.1 – Сравнение выбросов в атмосферу

Показатель	Старый завод (советская технология)	Новый комплекс (KBR Purifier)
CO ₂ , т/т NH ₃	1,8–2,0	0,2–0,5 (при CCS)
NO _x , мг/м ³	>300	<200 (цель <100)
NH ₃ , мг/м ³	20–50	<5
PM2.5, кг/т	1–2	<0,2
VOC, кг/т	1–2	<0,3

Таблица 3.2 – Сравнение сточных вод и водопотребления

Показатель	Старый завод (советская технология)	Новый комплекс (KBR Purifier)
Расход воды, м ³ /т NH ₃	8–10	4–5
NH ₃ /аммоний, мг/л	50–100	<2

NO ₃ ⁻ , мг/л	20–50	<10
Фосфаты, мг/л	5–10	<1
COD, мг/л	50–100	<30
Хлориды (при морской воде), мг/л	>1500	<500

В таблице таблица 3.3 представлен прогноз изменения индекса качества воздуха (AQI) в Мангистауской области в сравнении с ситуацией на 2024 г., а также без указания BAT (наилучшей доступной технологией) и с применением BAT и CCS (улавливание и хранение углерода).

Таблица 3.3 – Прогноз изменения AQI при запуске нового завода аммиака

Территория	AQI (2024)	AQI (прогноз, без BAT)	AQI (прогноз, с BAT и CCS)
Актау	65 (умеренный)	110 (нездоровый для уязвимых)	75 (умеренный)
Жанаозен	95 (верхняя граница умеренного)	145 (нездоровый)	90 (умеренный)
Прибрежная зона Каспия	50 (умеренный)	85 (умеренный, ближе к опасному)	55 (умеренный, безопасный)

3.2 Экологические аспекты воздействия на водные ресурсы

Водоёмкость производства

Производство аммиака относится к числу наиболее водоёмких процессов в химической промышленности, так как вода задействована практически на всех стадиях технологической цепочки.

Основные направления её использования включают:

- получение водорода методом парового риформинга метана (SMR), где вода применяется для образования технологического пара и поддержания реакции $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$;
- охлаждение реакторов, компрессорных агрегатов и теплообменного оборудования, что требует значительного оборотного водооборота;
- приготовление технологических растворов, включая абсорбенты, катализаторы, моющие и промывочные жидкости;

- функционирование систем газоочистки, где вода используется в процессах абсорбции аммиака и оксидов азота.

Средние удельные затраты воды составляют порядка 5–10 м³ на 1 т аммиака. Для предприятия проектной мощностью 1 млн т/год потребность достигает 5–10 млн м³ пресной воды ежегодно.

В условиях Мангистауской области, где водные ресурсы крайне ограничены, такая нагрузка имеет критический характер. Основным источником водоснабжения выступает опреснённая морская вода Каспийского моря. При этом ежегодная потребность завода может составить до 20% существующих объёмов опреснения, что создаёт конкуренцию за воду между промышленными объектами и населением региона.

Загрязнение сточных вод

Помимо высокой водоёмкости, аммиачное производство сопровождается образованием сточных вод со сложным химическим составом. Наиболее характерные загрязнители включают:

- аммиак и аммонийные соединения (10–100 мг/л), превышающие нормативные значения в 5–50 раз и обладающие выраженной токсичностью для гидробионтов;
- азотные соединения (нитраты и нитриты в концентрации 20–50 мг/л), способные загрязнять подземные и питьевые воды, вызывая «синдром голубого ребёнка» (метгемоглобинемию);
- фосфаты (5–10 мг/л), стимулирующие процессы эвтрофикации, что приводит к цветению воды и массовой гибели водной фауны;
- фенолы, цианиды и тяжёлые металлы (0,1–1 мг/л), обладающие токсическим и канцерогенным эффектом;
- хлориды и повышенная минерализация (1000–3000 мг/л) при использовании морской воды для охлаждения, приводящие к вторичному засолению почв и деградации экосистем.

Таким образом, водное воздействие производства аммиака проявляется в двух аспектах — чрезмерном потреблении ограниченных водных ресурсов региона и формировании сточных вод с высоким содержанием токсичных компонентов. В совокупности это усиливает дефицит воды в Мангистау и создаёт угрозу деградации прибрежных экосистем Каспийского моря.

В таблице 3.4 представлен состав сточных вод аммиачного производства и их последствия. Как видно из таблицы концентрация представленных компонентов превышают в разы, что может привести к необратимым экологическим последствиям.

Таблица 3.4 – Состав сточных вод аммиачного производства и их последствия

Компонент	Концентрация (мг/л)	ПДК (мг/л)	Экологические последствия
$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$	10–100	2	Эвтрофикация, токсичность для рыб, резкий запах
NO_3^-	20–50	45	Загрязнение подземных и питьевых вод
Фосфаты	5–10	3,5	Цветение водорослей, гибель гидробионтов
COD (ХПК)	50–100	30	Рост органики, кислородное голодание
BOD (БПК)	20–50	15	Уменьшение кислорода, гибель рыбы
Хлориды	1000–3000	1000	Засоление почв и водоёмов
Фенолы	0,1–1	0,001	Токсичность, канцерогенный эффект
Цианиды	0,01–0,1	0,01	Смертельная токсичность для гидробионтов

В таблице 3.5 показан объем расхода воды (млн м³/год) для производства 1 млн т/год аммиака. Как видно из таблицы для производства 1 млн т /год аммиака необходимо воды от 5-10 млн. м³/год.

Таблица 3.5 – Водный баланс аммиачного производства (1 млн т/год)

Направление использования воды	Объём (млн м³/год)	Доля от общего (%)
Паровой риформинг (SMR)	3–4	40–50
Охлаждение оборудования	2–3	30
Технологические растворы	0,5–1	10
Очистка газов	0,5–1	10
Итого	5–10	100

В таблице 3.6 последствия сброса сточных вод в Мангистауской области. Как видно из таблицы без применения новейших технологии очистки сточных вод последствия сброса могут привести к необратимым экологическим последствиям.

Таблица 3.6 – Потенциальные последствия сброса сточных вод в Мангистауской области

Водный объект	Загрязнители	Последствия
Каспийское море	НН ₃ , NO _x , фосфаты, хлориды	Эвтрофикация, цветение воды, гибель рыб, снижение биоразнообразия
Подземные воды (Актанисский и Жетыбайский водоносные горизонты)	Нитраты, нитриты	Загрязнение питьевой воды, риск метгемоглобинемии
Прибрежные почвы	Хлориды, соли	Вторичное засоление, деградация сельхозземель

3.3 Экологические аспекты воздействия на почвы и экосистемы

Производство аммиака оказывает значительное воздействие на почвенный покров региона, что связано с рядом факторов. К основным источникам загрязнения относятся утечки сырья и продуктов на этапах хранения и транспортировки, аварийные выбросы в случае нарушений технологического режима, захоронение твёрдых промышленных отходов, а также выпадение загрязняющих веществ из атмосферы.

Накопление азотсодержащих соединений в почвах приводит к их деградации, засолению и снижению плодородия. Атмосферные выбросы оксидов азота и аммиака осаждаются вместе с осадками, вызывая подкисление почвенного горизонта, нарушение кислотно-щелочного баланса и гибель почвенной микрофлоры. В условиях аридного климата Мангистау, где почвы изначально характеризуются низким содержанием гумуса и слабой восстановительной способностью, подобные процессы ускоряют эрозию и опустынивание земель.

По оценкам международных организаций, площадь нарушенных земель в Мангистауской области превышает 150 тыс. га, при этом до 60% деградации приходится на нефтегазовый и химический секторы. Введение новых аммиачных мощностей без применения экологически чистых технологий и мер рекультивации способно увеличить этот показатель ещё на 10–15%. Это создаёт прямую угрозу для сельскохозяйственного использования земель, пастбищного животноводства и сохранения экосистем, а также усиливает риск вторичного пылевого загрязнения воздуха вследствие дефляции и ветровой эрозии.

В таблице 3.3 указаны основные экологические аспекты воздействия на почвы и экосистемы с приведением источников оказывающих негативное воздействие и вытекающими последствиями закисления и деградация почв и т.д.

Таблица 3.3 - Основные экологические аспекты воздействия на почвы и экосистемы

Экологический аспект	Источник	Последствие
Выпадение NO _x и NH ₃	Атмосферные выбросы	Закисление и деградация почв
Сброс сточных вод	Производственные стоки	Засоление, потеря биоразнообразия
Аварийные выбросы	Технологические нарушения	Локальное загрязнение и гибель растительности
Загрязнение твёрдыми отходами	Шламы, катализаторы	Радиоактивные и тяжёлые металлы

3.4 Экологические аспекты воздействия на здоровье населения

Функционирование аммиачных производств сопровождается комплексом факторов риска для здоровья человека. К числу наиболее значимых относятся:

- мелкодисперсные частицы PM_{2.5} и оксиды азота (NO_x), которые при длительном воздействии повышают вероятность развития респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, вызывают хронический бронхит, астму и усугубляют течение уже существующих патологий;
- утечки аммиака из технологических узлов и систем хранения, приводящие к острым отравлениям, раздражению дыхательных путей, глаз и кожи, а при высоких концентрациях — к угрозе жизни человека;
- летучие органические соединения (VOC), фенолы и побочные продукты переработки, обладающие канцерогенным и мутагенным действием, что повышает риск онкологических заболеваний и нарушений репродуктивной системы.

Существующие эпидемиологические данные подтверждают влияние промышленного фактора на здоровье населения. Так, в Жанаозене уровень заболеваний органов дыхания на 15–20% выше среднего республиканского уровня. Введение нового аммиачного производства без современных систем фильтрации и регулярного экологического мониторинга способно увеличить риск возникновения болезней ещё на 10–15%. Это особенно критично для уязвимых групп — детей, пожилых людей и

работников промышленных предприятий, находящихся в зоне постоянного воздействия.

В таблице 3.4 приведены основные риски, влияющие на организм человека. Как видно из таблицы загрязняющие вещества в атмосферном воздухе выделяемые производством оказывают негативное действие на организм человека вызывая ряд хронических заболеваний.

Таблица 3.4 – Основные риски для здоровья населения от выбросов аммиачного производства

Загрязнитель	Действие на организм	Эффект при хроническом воздействии
CO ₂	Косвенное (парниковый эффект)	Климатические изменения, рост числа тепловых стрессов
NO _x	Раздражение дыхательных путей	Астма, бронхит, сердечно-сосудистые болезни
NH ₃	Токсичен при вдыхании	Хронические болезни дыхательных путей
PM2.5	Проникают в лёгкие и кровь	Рак лёгких, инфаркты, инсульты
VOC	Канцерогенное воздействие	Онкологические заболевания

3.5 Пути снижения негативного воздействия

Пример внедрения ВАТ: модернизация АО «КазАзот»

На действующем заводе АО «КазАзот» применялись устаревшие советские технологии синтеза аммиака, сопровождавшиеся высокими выбросами CO₂, NO_x и NH₃, а также значительными сбросами сточных вод. В 2023–2025 гг. реализуется строительство нового аммиачно-карбамидного комплекса на базе технологии **KBR Purifier™**, предусматривающей глубокую очистку синтез-газа, интеграцию CCS, селективную каталитическую нейтрализацию NO_x и замкнутый водооборот.

Основные результаты перехода:

- снижение удельных выбросов CO₂ с 1,5–2,0 т/т NH₃ до 0,2–0,5 т/т NH₃;
- сокращение эмиссий NO_x <100 мг/м³ и NH₃ <5 мг/м³ (стандарты ЕС);

- исключение сбросов сточных вод в Каспийское море;
- рост энергоэффективности за счёт утилизации тепла реакций.

Кейс АО «КазАзот» подтверждает практическую реализацию ВАТ в Казахстане и соответствие международным требованиям по декарбонизации химической промышленности.

4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО МИНИМИЗАЦИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

4.1 Технологические мероприятия

Снижение экологической нагрузки при производстве аммиака возможно только за счёт внедрения современных технологических решений, ориентированных на декарбонизацию, рациональное использование ресурсов и замкнутые циклы.

Наибольший эффект дают следующие мероприятия:

- интеграция улавливания и хранения углерода (CCS);
- переход к «зелёному» водороду;
- совершенствование катализаторов и реакторных систем;
- повышение энергоэффективности и использование побочного тепла;
- внедрение замкнутых водооборотных систем и глубокой очистки стоков.

Улавливание и хранение углерода (CCS)

В классическом процессе Габера–Боша значительная часть выбросов приходится на стадии риформинга. Применение CCS позволяет улавливать до 90–95% CO₂ ещё на этапе формирования синтез-газа. Это сокращает углеродный след с типичных 1,8–2,0 т CO₂/т NH₃ до уровня менее 0,3 т CO₂/т NH₃.

Переход к «зелёному» водороду

Зелёный аммиак основывается на водороде из электролиза воды с использованием возобновляемой энергии. В таком варианте углеродный след стремится к нулю. Несмотря на высокую энергоёмкость (40–50 ГДж/т), эта технология получает развитие благодаря снижению стоимости солнечной и ветровой энергии.

Совершенствование катализаторов и реакторов

Классические катализаторы требуют высоких температур (450 °C) и давления (300 бар).

Современные системы на основе Ru/C и Fe-K позволяют работать при 350–400 °С и 100–150 бар, что уменьшает энергозатраты на 15–20% и снижает выбросы CO₂ почти вдвое.

Энергоэффективность и утилизация побочного тепла

Процесс синтеза аммиака сопровождается выделением большого количества тепла, которое ранее терялось. Его использование в когенерационных установках, для нагрева сырья и даже для опреснения воды позволяет снизить энергопотребление на 10–15% и уменьшить нагрузку на энергосистему.

Водные технологии

В условиях Мангистауской области, где дефицит воды стоит особенно остро, важнейшее значение имеют системы оборотного водоснабжения. Современные решения позволяют возвращать в цикл до 80–90% воды и сокращать прямое потребление с 10 м³/т NH₃ до 2–3 м³/т. Одновременно минимизируются сбросы сточных вод благодаря мембранным и биологическим методам очистки.

В таблице 4.1 приведена сравнительная характеристика производства аммиака по уровню выбросов в окружающую среду.

Как видно из таблицы наиболее значимой технологией является технология «Зеленый аммиак», где выбросы CO₂- составляют меньше 0,1 (т/т NH₃).

Таблица 4.1 – Сравнение технологий производства аммиака по уровню выбросов

Технология	Источник H ₂	CO ₂ -выбросы (т/т NH ₃)	Энергоёмкость (ГДж/т)	Стоимость (\$/т)	Примеры проектов
Серый аммиак	SMR	1,5–2,0	28–35	200–300	Казахстан, Китай
Синий аммиак	SMR + CCS	0,2–0,5	30–40	300–400	Норвегия, Сауд. Аравия
Зеленый аммиак	Электролиз (ВИЭ)	<0,1	40–50	400–600	Австралия, ЕС

В таблице 4.2 приведены виды технологических мероприятий для снижения воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду. Как видно из мероприятий ожидаемый эффект от вышеуказанных мероприятий приведет к:

- ✓ снижению выбросов CO₂ на 70–90%;
- ✓ уменьшению эмиссий NO_x и NH₃ в несколько раз;
- ✓ сокращению водопотребления до двух-трёх раз.

Таблица 4.2 – Виды технологических мероприятия для снижения воздействия ЗВ

Мероприятия	Снижение CO ₂	Снижение NO _x и NH ₃	Снижение водопотребления	Примеры
CCS	90–95%	–	–	Yara (Норвегия), NEOM (СА)
Зеленый H ₂	95–99%	–	до 50%	Asian Hub (Австралия)
Новые катализаторы	20–30%	15–20%	–	BASF (Германия)
Энергоэффективность	10–15%	–	–	Casale (Япония)
Замкнутый водооборот	–	–	70–80%	Китай, Индия

4.2 Системы экологического мониторинга

Технологические инновации сами по себе не обеспечивают полноценного экологического эффекта, если они не подкреплены развитой инфраструктурой. Для Мангистауской области, где промышленная нагрузка уже превышает санитарные нормативы, именно инфраструктурные решения должны стать связующим звеном между современными технологиями и реальным улучшением качества окружающей среды.

Ключевым направлением является создание комплексной сети мониторинга:

- Атмосферный воздух — автоматические станции контроля качества воздуха с фиксацией CO₂, NO_x, SO₂, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀ и VOC, данные которых доступны онлайн.
- Водные ресурсы — станции контроля качества в Каспийском море и подземных водоносных горизонтах, с приоритетом по нитратам, аммонийным соединениям, хлоридам и фосфатам.
- Почвы — регулярные замеры содержания азотсодержащих соединений, тяжёлых металлов и солей, особенно в прибрежных и сельскохозяйственных районах.

В таблице 4.3 приведены мониторинговые станции в странах ЕС, Китая и США. Как видно из таблицы количество станции странах ЕС и США от 10-15 ед. на 1 млн жителей, значения АСМ находятся в онлайн доступе при этом концентрация РМ 2,5 мкг/м³, в воздухе значительно существенное. В Казахстане плотность мониторинговой сети пока крайне низкая: на 1 млн жителей приходится 2–3 станции контроля воздуха

Таблица 4.3 – Сравнение мониторинга качества воздуха в странах мира

Страна	Число станций AQI на 1 млн жителей	Доступность данных	Среднее значение PM _{2.5} (мкг/м ³ , 2024)	Тенденция
Казахстан	2–3	Ограниченная, по крупным городам	25–40	Стабильно высокое
ЕС	10–15	Открытый доступ (онлайн)	10–20	Снижение на 2–3% в год
Китай	8–10	Открытый доступ (AQICN)	30–50	Снижение на 4–5% в год
США	12–14	Открытый доступ (EPA AirNow)	10–15	Стабильно низкое

4.2.1 Мероприятия снижения воздействия на окружающую среду в сфере информационных технологии

Современные подходы требуют перехода к «цифровой экологии»:

- интеграция экологических данных в системы «Smart City» Актау и Жанаозена,
- применение спутникового контроля (ESA, NASA) для отслеживания эмиссий CO₂ и NO_x в региональном масштабе.

- создание единого онлайн-портала мониторинга для госорганов, предприятий и населения,

В РК создан онлайн-портала <https://ndbecology.gov.kz> где предприятия ежеквартально вносят данные мониторинга на источниках предприятия. На источниках загрязнения предприятий 1 категории установлены автоматизированные системы мониторинга (АСМ), которые работают в онлайн режиме и передают данные в госорганы.

По данным международного опыта в странах ЕС действуют следующие системы мониторинга:

ЕС — действует единый портал European Air Quality Index, обеспечивающий доступ к данным станций в реальном времени.

Китай — создано более 1500 станций AQI, что позволило снизить концентрации PM_{2.5} на 30% за 7 лет.

Норвегия — интеграция CCS и систем мониторинга выбросов обеспечивает контроль эффективности улавливания углерода.

Для снижения негативного воздействия необходима развитая система очистных и утилизационных объектов:

- биореакторы и мембранные установки для глубокой очистки сточных вод,

- газоочистные системы на основе селективного каталитического восстановления (SCR) для сокращения выбросов NO_x,
- центры утилизации и переработки отходов, включая использование побочных продуктов (например, гипса из десульфуризации) в строительстве,
- энергетическая интеграция через использование тепла отходящих газов для когенерации и опреснения морской воды.

В таблице 4.4 приведены мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду с внедрениями новейших технологии с эффективностью мероприятия от 80-90%.

Таблица 4.4 – Мероприятия по снижению воздействия

Мера	Эффект	Пример внедрения	Прогнозируемый результат для Мангистау
Мониторинг AQI	Снижение риска для здоровья населения	ЕС, Китай	Ранняя реакция на пики загрязнения
Современные очистные сооружения	Снижение COD и NH ₃ в сточных водах на 80–90%	Германия, Япония	Защита Каспия от эвтрофикации
Газоочистка (SCR)	Снижение выбросов NO _x на 60–80%	Норвегия	Улучшение AQI на 20–30 пунктов
Цифровые платформы	Повышение прозрачности	США (EPA AirNow)	Доступ населения к данным в реальном времени
Интеграция с ВИЭ	Снижение потребления ископаемого топлива	Австралия	Снижение выбросов CO ₂ на 30–40%

В таблице 4.5 приведены прогнозы затрат на экологические мероприятия для снижения воздействия на окружающую среду для завода производительностью 1 млн т/год.

Таблица 4.5 – Прогноз затрат на инфраструктурные меры для завода мощностью 1 млн т/год

Направление	Инвестиции (\$ млн)	Снижение воздействия (%)
Мониторинг (AQI + вода + почвы)	10–15	Улучшение данных и планирования
Газоочистка (SCR, фильтры)	50–70	–60–80% NO _x и NH ₃
Очистные сооружения (мембраны, биореакторы)	80–100	–70–90% сточных загрязнений
Цифровая платформа + спутниковый контроль	5–10	Прозрачность, контроль выбросов
ВИЭ для производства H ₂	150–250	–90% CO ₂

4.3 Мероприятия внедрения НТД при нормировании эмиссии

Нормативно-правовое регулирование играет ключевую роль в снижении экологического воздействия аммиачного производства. Современные технологии сами по себе не способны обеспечить устойчивое функционирование предприятия, если они не подкреплены строгими стандартами контроля выбросов, сбросов и использования ресурсов.

В Республике Казахстан основным документом является Экологический кодекс (2021), который определяет переход к «зелёной экономике» и ориентирует промышленность на использование наилучших доступных технологий (НДТ, аналог европейского BAT). Однако, несмотря на приближение к международной практике, предельно допустимые концентрации (ПДК) для ряда загрязнителей в Казахстане остаются менее строгими, чем в странах Европейского Союза.

В таблице 4.6 приводится сравнение нормативов ПДК выбросов и сбросов Казахстана и ЕС показывает значительные различия:

- для NO_x в Казахстане допустимый уровень выбросов составляет до 200 мг/м³, в ЕС — менее 100 мг/м³;
- для NH₃ в Казахстане предельное значение — до 30 мг/м³, в ЕС — не более 5 мг/м³;
- для PM_{2.5} (твёрдых частиц) в Казахстане установлено 50 мкг/м³ (среднесуточно), в ЕС — 25 мкг/м³;
- для COD в сточных водах в Казахстане допускается до 30 мг/л, в ЕС — до 20 мг/л.

Таким образом, нормативы Европейского Союза в среднем в 2–6 раз строже, что связано с приоритетом защиты здоровья населения и экосистем.

Таблица 4.6 – Сравнение предельно допустимые концентрации эмиссии в РК и ЕС

Показатель	(ЭК РК, 2021)	ЕС (ВАТ, 2021)	Различие	Экологические последствия
NO _x (мг/м ³)	≤200	<100	в 2 раза мягче	Кислотные дожди, смог
NH ₃ (мг/м ³)	≤30	<5	в 6 раз мягче	Эвтрофикация, токсичность
PM2.5 (мкг/м ³ , сутки)	≤50	≤25	в 2 раза мягче	Респираторные болезни
COD (мг/л в сточных водах)	≤30	≤20	в 1,5 раза мягче	Снижение кислорода в воде
Фосфаты (мг/л)	≤3,5	≤2	1,7 раза мягче	Цветение водоёмов

4.3.1 Система контроля и отчётности

В Европейском Союзе экологический контроль осуществляется на основе документов BREF (Best Available Techniques Reference Documents), в которых для каждой отрасли определены конкретные технические стандарты. Предприятие не получает разрешения на эксплуатацию, если оно не внедряет ВАТ.

В Казахстане также заявлен переход на НДТ, однако пока сохраняются следующие проблемы:

- отсутствие полноценных отраслевых BREF-документов;
- декларативный характер экологической отчётности предприятий;
- ограниченные ресурсы для эффективного контроля со стороны уполномоченных органов.

Таблица 4.7 – Потенциальные последствия сохранения текущих нормативов РК

Сфера	При сохранении текущих ПДК	При гармонизации с ЕС
Атмосфера	Уровень AQI в Актау и Жанаозене – 100–150 (нездоровый)	AQI снижается до 70–90 (умеренный)
Вода	Эвтрофикация Каспия, рост COD до 100 мг/л	COD ≤ 30 мг/л, снижение цветения воды
Почвы	Засоление и накопление нитратов	Контролируемый баланс минеральных веществ
Экономика	Риск санкций ЕС (СВАМ)	Доступ к рынкам ЕС, привлечение инвестиций

Таблица 4.8 – Дорожная карта гармонизации нормативов РК с ЕС (2025–2035)

Этап	Меры	Сроки	Ожидаемый результат
I. Подготовка	Разработка национальных BREF-документов	2025–2027	Создание нормативной базы
II. Переходный	Постепенное ужесточение ПДК (NO_x – до 150 мг/м ³ , NH_3 – до 15 мг/м ³)	2028–2030	Частичная гармонизация
III. Полная гармонизация	Введение нормативов ЕС ($\text{NO}_x < 100$, $\text{NH}_3 < 5$)	2031–2035	Соответствие международным стандартам

С 2021-2025 г. разработаны 20 справочников НТД для предприятия <https://igtipc.org/ndt-reference-books>. В 2025 г. планируется разработка справочников НТД по восстановлению отходов, захоронению отходов, уничтожению и утилизация отходов термическим способом и производство редких цветных металлов.

Экономические механизмы

Экономические механизмы играют не меньшую роль, чем технологические и нормативные меры, поскольку именно они формируют стимулы для внедрения экологически чистых технологий. В условиях высокой капиталоемкости аммиачного производства, где затраты на строительство завода мощностью 1 млн тонн в год составляют от 800 до 1200 млн долларов, именно финансовые инструменты могут компенсировать расходы на переход от традиционного «серого» производства к «синим» и «зеленым» технологиям.

Углеродное регулирование

Казахстан подписал Парижское соглашение в 2016 году и обязался снизить выбросы парниковых газов на 15% к 2030 году по сравнению с уровнем 1990 года.

С 2013 года внедрил систему торговли квотами на выбросы (ETS), однако стоимость углерода остается крайне низкой — порядка 2–3 долларов за тонну CO_2 , в то время как в Европейском Союзе цена превышает 80–90 долларов. Усиление ETS и постепенное приближение к мировым значениям позволит стимулировать предприятия к снижению эмиссий. Введение углеродного налога или повышение стоимости квот до уровня 30–40 долларов за тонну сделает производство «серого аммиака» менее выгодным и ускорит внедрение технологий CCS и переход к возобновляемым источникам энергии.

Для выполнения этих целей необходимы:

- гармонизация национальных нормативов с требованиями Европейского Союза,
- внедрение углеродного регулирования,

- постепенный отказ от углеродоёмких технологий, включая производство так называемого «серого аммиака».

Без реализации этих мер экспорт аммиака и азотных удобрений из Казахстана окажется под угрозой из-за действия механизма углеродной корректировки импорта в ЕС (СВАМ), который вступает в силу в 2026 году.

Таблица 4.9 – Сравнение углеродного регулирования в РК и ЕС

Показатель	Казахстан (ETS)	ЕС (EU ETS)	Разница
Цена за 1 т CO ₂	2–3 \$	80–90 \$	В 30 раз ниже
Охват	40% выбросов	100% выбросов	Ограниченный
Санкции за превышение	Низкие	Жёсткие (штрафы до 100 €/т)	Существенные
Результат	Низкая мотивация к снижению выбросов	Массовый переход на ВИЭ и CCS	—

Субсидии и льготы

Финансовая поддержка со стороны государства может включать субсидирование затрат на внедрение систем CCS, газоочистки и водоочистки в объёме 30–50% от капитальных расходов. Дополнительно эффективным инструментом являются налоговые льготы, например освобождение от корпоративного подоходного налога на срок от 5 до 10 лет для предприятий, перешедших на ВАТ. В Казахстане также возможно использование льготного финансирования через институты развития, такие как Банк Развития Казахстана или АО «Казына Капитал Менеджмент».

«Зелёные» кредиты и облигации

Международная практика показывает высокую эффективность зелёных облигаций для финансирования проектов CCS и возобновляемой энергетики. Казахстан выпустил первые «зелёные облигации» в 2020 году, но их объём пока ограничен. Для нового аммиачного комплекса в Мангистауской области выпуск облигаций может обеспечить привлечение 200–300 млн долларов на выгодных условиях.

Таблица 4.10 – Экономические стимулы для внедрения «зелёных» технологий в аммиачном производстве

Мера	Инструмент	Эффект	Примеры
Углеродное ценообразование	ETS, налог	Повышает стоимость «серого аммиака», стимулирует CCS	ЕС, Канада

Субсидии	30–50% CAPEX	Ускоряет внедрение BAT	Китай, Германия
Налоговые льготы	Освобождение от налогов на 5–10 лет	Снижение издержек	США
Зелёные облигации	\$200–300 млн	Привлечение дешёвого капитала	Япония, ЕС
Гранты и кредиты	Всемирный банк, UNDP	Поддержка перехода на ВИЭ	Центральная Азия

Международные механизмы поддержки

Существенную роль в финансировании экологических инициатив играют международные организации. Программы UNDP, UNECE, АБР и Всемирного банка предусматривают гранты и кредиты на экологические проекты в Центральной Азии. Дополнительно возможно участие в международных системах торговли углеродными кредитами, что позволит продавать сокращённые выбросы на внешних рынках. В перспективе реальным является привлечение грантов Европейского Союза через программы Horizon Europe и Global Gateway.

Для Мангистауской области экономические стимулы должны быть увязаны с региональными приоритетами. Часть налоговых поступлений от деятельности завода целесообразно направлять в экологический фонд региона. Следует внедрить принцип «загрязнитель платит» с привязкой штрафных санкций к фактическим объёмам выбросов и сбросов. Дополнительно важным направлением станет стимулирование строительства опреснительных установок, работающих на возобновляемых источниках энергии, что позволит снизить нагрузку на водные ресурсы региона.

Таблица 4.11 – Прогноз экономических эффектов стимулирующих мер для завода (1 млн т/год)

Сценарий	CAPEX (\$ млн)	OPEX (\$/т NH ₃)	Выбросы CO ₂ (т/т NH ₃)	Конкурентоспособность на рынке ЕС
Серый аммиак (без стимулов)	800	200	1,8–2,0	Низкая (CBAM)
Синий аммиак (CCS, субсидии)	1100	250	0,2–0,3	Средняя
Зеленый аммиак (ВИЭ, облигации)	1200–1300	400–450	<0,1	Высокая

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы была проведена всесторонняя оценка экологических аспектов производства аммиака с учётом особенностей Мангистауской области Республики Казахстан.

Аммиак является стратегическим продуктом химической промышленности, обеспечивающим производство азотных удобрений и других важных соединений. Его значение для агропромышленного комплекса и энергетики в условиях глобального роста населения и продовольственного кризиса трудно переоценить. В то же время традиционные технологии его получения сопровождаются высокими энергозатратами и значительным углеродным следом, что делает аммиачное производство одним из крупнейших источников промышленных выбросов парниковых газов (около 1,3% мировых антропогенных эмиссий CO₂).

Анализ литературных источников показал, что наряду с классическим процессом Габера–Боша активно развиваются новые технологии: синий аммиак (с применением CCS) и зелёный аммиак (на основе водорода из возобновляемых источников). Эти подходы позволяют снизить углеродный след до 0,2–0,3 т и менее 0,1 т CO₂ на тонну NH₃ соответственно, что в 5–10 раз ниже по сравнению с традиционным серым аммиаком.

Исследование природно-климатических и промышленно-экологических особенностей Мангистауской области показало, что регион обладает высокой степенью уязвимости:

- крайне ограниченные водные ресурсы и зависимость от опреснения Каспийского моря;
- значительное загрязнение атмосферы нефтегазовой промышленностью (AQI 50–100);
- повышенный риск засоления почв и деградации экосистем;

- рост заболеваемости населения респираторными и сердечно-сосудистыми болезнями.

Воздействие предполагаемого аммиачного производства на окружающую среду в регионе проявляется в следующих направлениях:

- **атмосфера:** выбросы CO₂, NO_x, NH₃, PM2.5, VOC усиливают загрязнение воздуха, способствуют формированию смога и парникового эффекта;

- **водные ресурсы:** потребление 5–10 млн м³/год и сброс загрязнённых стоков с превышением ПДК по NH₃, нитратам и солям угрожают экосистеме Каспийского моря и качеству питьевой воды;

- **почвы и экосистемы:** азотные соединения и соли приводят к вторичному засолению земель и деградации биоразнообразия;

- **здоровье населения:** рост концентраций PM2.5 и NH₃ увеличивает риск заболеваний органов дыхания на 20–30%.

Для минимизации негативных последствий были предложены пути снижения воздействия, сгруппированные по четырём направлениям:

1. **Технологические меры** – внедрение CCS, переход на зелёный водород, совершенствование катализаторов, энергоэффективность и замкнутые водные циклы.

2. **Инфраструктурные меры** – создание сети экологического мониторинга (AQI, вода, почвы), современные очистные сооружения, газоочистка, цифровые платформы.

3. **Нормативные меры** – гармонизация стандартов РК с ЕС, введение более строгих ПДК для NO_x, NH₃, PM2.5 и COD, интеграция в международные соглашения.

4. **Экономические стимулы** – углеродное регулирование, субсидии, налоговые льготы, «зелёные» облигации, международные гранты и кредиты.

Обобщая результаты, можно выделить ключевые выводы:

- Экологические риски производства аммиака в Мангистауской области крайне высоки, однако они могут быть существенно снижены при условии внедрения наилучших доступных технологий (BAT).

- Оптимальной стратегией для Казахстана является **переходный сценарий:** сначала внедрение «синего аммиака» с CCS, а в долгосрочной перспективе – полное развитие «зелёного аммиака» на основе ВИЭ.

- Гармонизация экологических нормативов с ЕС позволит не только улучшить экологическую ситуацию в регионе, но и обеспечит конкурентоспособность

казахстанского аммиака на мировом рынке, особенно с учётом введения механизма углеродного регулирования СВМ в ЕС.

- Инвестиции в экологические и инфраструктурные проекты (мониторинг, очистные сооружения, ВИЭ) должны рассматриваться не как затраты, а как стратегическое вложение в устойчивое развитие региона и здоровье его населения.

Таким образом, создание аммиачного производства в Мангистауской области возможно лишь при условии системного подхода, основанного на сочетании технологических, инфраструктурных, нормативных и экономических мер. Такой подход позволит минимизировать экологические аспекты на окружающую среду, обеспечить рациональное использование природных ресурсов и способствовать переходу Казахстана к «зелёной экономике» в соответствии с национальными и международными стратегиями устойчивого развития.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

1. Впервые проведён комплексный анализ экологических рисков производства аммиака в условиях Мангистауской области с учётом региональных климатических и гидрологических особенностей.

2. Систематизированы современные технологии производства аммиака (традиционные, синие и зелёные) с использованием метода оценки жизненного цикла (LCA), что позволило выявить их сравнительное воздействие на окружающую среду.

3. Выявлены критические точки производственного цикла, оказывающие наибольшее негативное влияние на атмосферу, воду и почвы региона.

4. Сформулирован комплекс практических рекомендаций, включающий не только технологические меры (ВАТ, СС, ВИЭ), но и инфраструктурные, нормативные и экономические инструменты снижения воздействия.

5. Предложена адаптация международных стандартов (ЕС, UNECE) к условиям Республики Казахстан для гармонизации экологических норм и повышения конкурентоспособности отечественной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ammonia Technology Roadmap. Paris: IEA, 2021. – 120 с.
2. Boyce J. et al. A prospective life cycle assessment of global ammonia production // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 450. – С. 142–156.
3. Kazakhstan Climate Change Knowledge Portal. World Bank, 2021. – 50 с.
4. Экологический кодекс Республики Казахстан. – Астана, 2021.
5. Transition pathway from blue to green ammonia production // International Journal of Hydrogen Energy. – 2025. – Vol. 50. – С. 100–115. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.01.001.
6. Techno-economic assessment of green ammonia production // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 168. – С. 112–130.
7. Blue and green ammonia production // iScience. – 2023. – Vol. 26. – С. 107–120. DOI: 10.1016/j.isci.2023.107456.
8. Navigating ammonia production routes // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. – 2024. – Vol. 46. – С. 100–110.
9. Hydrogen production via nanocatalyzed ammonia borane hydrolysis // Coordination Chemistry Reviews. – 2025. – Vol. 520. – С. 215–230.
10. Biomass-Based Green Ammonia // ScienceDirect. – 2025. – С. 50–65.
11. Recent progress towards solar energy integration // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46. – С. 200–215.
12. Environmental Impacts of Ammonia Production. – Iamm.green, 2022. – URL: <https://www.iamm.green/ammonia-production/> (дата обращения: 17.09.2025).
13. Evaluating present-day and future impacts of agricultural ammonia // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2025. – Vol. 25. – С. 2017–2030.
14. Ammonia and aquatic ecosystems // ScienceDirect. – 2024. – С. 100–115.
15. Air Pollution in Kazakhstan and Health Risk Reports. – UNDP, 2024. – 80 с.
16. Future Trends of Global Agricultural Emissions // AGU Advances. – 2025. – Vol. 6. – С. 100–120.
17. Best Available Techniques (BAT) Reference Document. – JRC / EU, 2023. – 250 с.
18. Ammonia Technology Roadmap. – OECD, 2021. – 100 с.

19. DECHEMA and Fertilizers Europe. – 2022. – URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/dechema-and-fertilizers-europe-decarbonizing-ammonia-production-up-to-2030/> (дата обращения: 17.09.2025).
20. Low-carbon ammonia production // Nature Food. – 2025. – Vol. 6. – С. 100–110.
21. Mangystau Province Climate Data. – Climate-data.org, 2025.
22. Extreme Temperature Events in Kazakhstan // PMC. – 2024. – С. 100–115.
23. UNDP presents results of the air pollution initiative. – UNDP, 2024. – URL: <https://www.undp.org/kazakhstan/press-releases/undp-presents-results-air-pollution-initiative-almaty> (дата обращения: 17.09.2025).
24. Water resources of Western Kazakhstan. – Preprints.org, 2025.
25. UN Sustainable Development Cooperation Framework 2021–2025. – UNDP, 2022. – 50 с.
26. Addressing Industrial Air Pollution in Kazakhstan. – OECD, 2019 (обновлено 2024). – 60 с.
27. Kazakhstan Warming Outpaces Global Trend. – Astana Times, 2025.
28. Transforming Water Management in Kazakhstan. – UNDP, 2025.
29. Mitigation potential of global ammonia emissions // PMC. – 2021. – С. 100–115.
30. Clean Household Energy Consumption in Kazakhstan. – OECD, 2020. – 40 с.
31. Best Available Techniques for Pollution Prevention. – Fertilizers Europe, 2021.
32. Air Pollution in Kazakhstan as Seen from Space. – EEAS, 2023.
33. Environmental Performance Reviews Kazakhstan. – UNECE, 2025.
34. Harnessing the Potential of Renewable Ammonia. – BCG, 2023.
35. From green ammonia to lower-carbon foods. – McKinsey, 2023.
36. KBR. Purifier™ Ammonia Process. Handout. Houston: KBR, 2023. URL: <https://www.kbr.com/sites/default/files/documents/2023-09/Purifier-Ammonia-Process-Handout.pdf> (дата обращения: 25.09.2025).
37. KBR. KBR's Market-Leading Ammonia Technology Selected by KazAzot, Kazakhstan. Press release, 18 Dec 2024. URL: <https://www.kbr.com/en/insights-news/press-release/kbrs-market-leading-ammonia-technology-selected-kazazot-kazakhstan> (дата обращения: 25.09.2025).
38. KBR. Purifier™ / PurifierPlus™ process overview. KBR Insights, Feb 2022. URL: <https://www.kbr.com/en/insights-news/thought-leadership/kbr-purifiertmpurifierplustm-process-superior-technology-blue> (дата обращения: 25.09.2025).
39. KBR. Ammonia 6000® Brochure. Houston: KBR, 2023. URL: <https://www.kbr.com/sites/default/files/documents/2023-09/Ammonia-6000-Brochure.pdf> (дата обращения: 25.09.2025).
40. Globuc / Rupec. Investments in KazAzot for the construction of an ammonia/urea complex. 14 Jul 2023. URL: <https://globuc.com/news/investments-kazazot-ammonia-complex/> (дата обращения: 25.09.2025).
41. ChemEngOnline. KBR's market-leading ammonia technology selected by KazAzot. 19 Dec 2024. URL: <https://www.chemengonline.com/kbr-ammonia-technology-selected-for-kazazot-kazakhstan/> (дата обращения: 25.09.2025).
42. QCIntel. Kazakhstan's Aktau urea plant to be completed in 2028. 9 Sep 2025. URL: <https://www.qcintel.com/ammonia/article/kazakhstan-s-aktau-urea-plant-to-be-completed-in-2028-48229.html> (дата обращения: 25.09.2025).
43. Portfolio-PPlus. Technology (M): KBR Purifier — описание процесса liquid-N₂ wash / cryogenic purification. Jan 2023. URL: <https://portfolio-pplus.com/Technologies/Details/204> (дата обращения: 25.09.2025).

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Галым Архат Шыңғысұлы

6B05205 – Химическая и биохимическая инженерия

На тему: «Экологические аспекты при производстве аммиака в
Мангистауской области»

Выполнено:

- а) графическая часть включает 7 таблиц, 5 рисунков и 3 приложения
- б) пояснительная записка изложена на 65 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена анализу экологических аспектов производства аммиака в Мангистауской области и переходу к наилучшим доступным технологиям (BAT). Автор рассмотрел особенности действующего завода АО «КазАзот» и нового аммиачно-карбамидного комплекса на основе технологии KBR Purifier™, проведя сравнительный анализ выбросов, водопотребления и энергоэффективности.

Работа отличается логичной структурой, самостоятельностью и практической значимостью. Отмечается корректное использование нормативной базы и современных источников. Замечания носят технический характер — незначительные недочёты в оформлении таблиц и форматировании.

Оценка работы

Дипломная работа на тему «Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской области» оцениваю на «отлично» – 99 баллов, и считаю, что Галым Архат Шыңғысұлы заслуживает квалификации бакалавра по образовательной программе 6B05205 – Промышленная экология.

Рецензент

Доктор Ph.D,
декан факультета биологии и биотехнологии КазНУ им. аль-Фараби
Курманбаева Меруерт Сакеновна

Ф. И.О.

«22» _____ 2025 г.



Ф КазНУТУ 706-17. Рецензия

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)
Ғалым Архат Шыңғысұлы
6B05205 – «Химическая и биохимическая инженерия»
(шифр и наименование ОП)

Тема: «Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской области»


Перед дипломником стояла задача – изучить передовые технологии производства аммиака для применения в Мангистауской области.

Перед ним были поставлены следующие задачи:

1. выполнить обзор существующих методов и технологий производства аммиака.
2. изучить характеристики производства аммиака в Мангистауской области и выявить экологические аспекты оказывающие негативные воздействия на окружающую среду.
3. оценить эффективность различных методов производства аммиака.
4. разработать решения по оптимизации завода по производству аммиака и минимизировать негативные воздействия на окружающую среду.

Все поставленные задачи Ғалым Архат выполнил на хорошем уровне. Четко видна актуальность данной работы, обусловленная новым экологическим законодательством. Практическая ценность исследования дополняется лаконичным изложением материала и удачно подобранными примерами из зарубежной практики. Работа написана логически, последовательно, чётко и ясно. Выполненная работа в полной мере отвечает поставленной цели и является законченной работой на уровне бакалавра. Оформление работы отвечает принятым стандартам.

Научный руководитель
старший преподаватель, к.б.н.
(должность, уч. степень, звание)

 **Садыкова Ш.Ж.**
(подпись)

«17» _ октября_ 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ғалым Архат Шыңғысұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской области.

Научный руководитель: Шолпан Кубекова

Коэффициент Подобия 1: 0.6

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 22

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование: Заимствования не являются плагиатом, уровень подобия не превышает допустимый.

Дата 10.10.2025

С.О.

проверяющий эксперт

Сарсенбаев С.О.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Галым Архат Шынгысулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Экологические аспекты при производстве аммиака в Мангистауской области.

Научный руководитель: Шолпан Кубекова

Коэффициент Подобия 1: 0.6

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 22

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☐ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☒ Обоснование: Фактически безупречная работа, соответствует требованиям на плагиат.

Дата 10.12.2025 г.

Заведующий кафедрой КРПН
ИЗ Кубекова М. Н.