

УДК 502.15:632.155:631.425.2  
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-211-216

**ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УДОБРЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ГРУНТОВЫХ ВОД:  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ**

*Ж.С. Баимова*

*Аннотация.* Рассматриваются последствия использования сельскохозяйственных удобрений на качество грунтовых вод с точки зрения экологических аспектов и стратегий управления. Введение сельскохозяйственных удобрений в почву является ключевым фактором повышения урожайности и продуктивности сельскохозяйственных культур. Однако неправильное и чрезмерное использование удобрений может привести к загрязнению грунтовых вод, что в свою очередь может оказать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. Проанализированы основные источники загрязнения грунтовых вод сельскохозяйственными удобрениями, такие как нитраты, фосфаты и другие химические вещества, а также их влияние на экосистемы и качество питьевой воды.

*Ключевые слова:* сельскохозяйственные удобрения; грунтовые воды; экологические последствия; загрязнение азотом; эрозия почвы; фильтрация; водоснабжение.

**ЖЕР АСТЫНДАГЫ СУУЛАРДЫН САПАТЫНА  
АЙЫЛ ЧАРБА ЖЕР СЕМИРТКИЧТЕРИН КОЛДОНУУНУН КЕСЕПЕТТЕРИН БААЛОО:  
ЭКОЛОГИЯЛЫК АСПЕКТИЛЕР ЖАНА БАШКАРУУ СТРАТЕГИЯЛАРЫ**

*Ж.С. Баимова*

*Аннотация.* Бул макалада айыл чарба жер семирткичтерин колдонуунун экологиялык аспектилери жана башкаруу стратегиялары боюнча жер астындагы суулардын сапатына тийгизген таасири каралат. Айыл чарба жер семирткичтерин топуракка себүү түшүмдүүлүктү жогорулатуунун негизги фактору болуп саналат. Бирок, жер семирткичтерди туура эмес жана ашыкча пайдалануу жер астындагы суулардын булганышына алып келиши мүмкүн, бул өз кезегинде айлана-чөйрөгө жана калктын ден соолугуна терс таасирин тийгизиши мүмкүн, ошондой эле жер астындагы суулардын нитраттар, фосфаттар жана башка химиялык заттар сыяктуу айыл чарба жер семирткичтери менен булганышынын негизги булактары, ошондой эле алардын экосистемага жана ичүүчү суунун сапатына тийгизген таасири талданат.

*Түйүндүү сөздөр:* айыл чарба жер семирткичтери; жер астындагы суулар; экологиялык кесепеттер; азот менен булгауу; топурактын эрозиясы; чыпкалоо; суу менен камсыздоо.

**ASSESSING THE EFFECTS OF AGRICULTURAL FERTILIZER  
USE ON GROUNDWATER QUALITY:  
ENVIRONMENTAL ASPECTS AND MANAGEMENT STRATEGIES**

*Zh.S. Baimova*

*Abstract.* This article discusses the effects of agricultural fertilizer use on groundwater quality in terms of environmental aspects and management strategies. The incorporation of agricultural fertilizers into the soil is a key factor in increasing crop yields and productivity. However, improper and excessive use of fertilizers can lead to groundwater pollution, which in turn can have a negative impact on the environment and public health. The main sources of groundwater

pollution from agricultural fertilizers, such as nitrates, phosphates and other chemicals, and their effects on ecosystems and drinking water quality are analyzed.

**Keywords:** agricultural fertilizers; groundwater; environmental impacts; nitrogen pollution; soil erosion; filtration; water supply.

В последние десятилетия сельское хозяйство стало одним из основных источников загрязнения грунтовых вод. Использование сельскохозяйственных удобрений является неотъемлемой частью современных сельскохозяйственных практик, однако оно может оказывать негативное воздействие на качество грунтовых вод и экосистемы в целом. В современном мире особое значение приобретают проблемы качества окружающей среды, устойчивого развития и рационального использования природных ресурсов [1]. Одной из причин, вызывающих эти проблемы, является широкое использование различных ядохимикатов и удобрений. Наиболее востребованными удобрениями являются азотные, фосфорные и калийные. Их применение может привести к эвтрофикации водоемов и ухудшению качества грунтовых вод, при этом в подземные воды могут попадать азот, фосфор, калий, ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и др. [2].

В сельскохозяйственных регионах часто встречается нитратное загрязнение подземных вод, при этом содержание нитратов в грунтовых водах может варьироваться от 1 до 3800 мг/дм<sup>3</sup>. Это загрязнение зависит от множества факторов, которые можно разделить на две группы – агроклиматические и геолого-гидрогеологические.

**Агроклиматические факторы включают:**

- величину доз используемых удобрений – чем выше доза, тем больше вероятность загрязнения подземных вод;
- состав и свойства удобрений – различные типы удобрений могут влиять на степень загрязнения;
- типы почв и их агрохимические свойства – некоторые типы почв более склонны к поглощению и удержанию нитратов, чем другие.
- годовую сумму атмосферных осадков – высокая влажность может способствовать вымыванию нитратов из почвы и их попаданию в подземные воды.

**Геолого-гидрогеологические факторы включают:**

- характеристики водоносных горизонтов – проницаемость, мощность и другие свойства водоносных горизонтов могут влиять на скорость и степень загрязнения подземных вод;
- геологические особенности – структура и состав пород, слагающих грунтовые воды, могут влиять на их загрязнение;
- уровень грунтовых вод – чем ближе к поверхности земли находятся грунтовые воды, тем выше вероятность их загрязнения.

Величина доз необходимых удобрений обычно определяется на основе расчета баланса гумуса и биогенных компонентов. Однако загрязнение подземных вод проявляется только при использовании избыточного количества удобрений. Оценки необходимого количества удобрений и масштаба возможного загрязнения природных вод не всегда являются однозначными и требуют тщательного анализа и учета всех факторов, влияющих на процессы миграции и трансформации загрязняющих веществ в окружающей среде [1].

В сельскохозяйственных регионах с высоко гумусированными почвами загрязнение подземных вод и почв азотом удобрений является характерным явлением. В таких районах дозы азотных удобрений (в пересчете на азот) могут составлять от 100 до 500 кг/га на пахотных землях, и от 160 до 900 кг/га – на лугах и пастбищах. Степень вымывания азота может варьироваться в диапазоне от 0,04 до 55 %. Это свидетельствует о необходимости тщательного контроля за их рациональным использованием.

Расчеты баланса гумуса показывают, что ежегодные потери гумуса с каждого гектара посевных площадей в среднем составляют 1800 кг. Для компенсации этого дефицита гумуса необходимо ежегодно вносить на пашню навоз в количестве 8 тонн на гектар. Однако даже при меньшей интенсивности

внесения навоза возможно превышение предельного уровня загрязнения водоисточников нитратами [1].

Важно отметить, что многие компоненты удобрений, попадающие в подземные воды, являются сильными токсикантами. Например, повышенные концентрации нитратов могут вызывать рак желудка и заболевания крови, такие как метгемоглобинемия. Поэтому необходимо тщательно контролировать количество вносимых органических удобрений, чтобы обеспечить баланс гумуса в почве и одновременно предотвратить загрязнение окружающей среды и риск для здоровья человека.

Объектом исследования является Иссык-Кульская область Кыргызской Республики, представляющая собой яркий пример интенсивного земледелия в Кыргызстане. Данный регион отличается хорошей геологической и гидрогеологической изученностью, а также регулярным агротехническим и агрохимическим мониторингом, проводимым государственным центром агрохимической службы [3].

Иссык-Кульская область является важным аграрным регионом, где осуществляется интенсивное сельскохозяйственное производство. Благодаря тщательному изучению геологических и гидрогеологических особенностей региона, а также систематическому мониторингу агротехнических и агрохимических показателей, государственный центр агрохимической службы обеспечивает эффективное управление земельными ресурсами и поддержание высокого уровня сельскохозяйственного производства.

Растениеводство в Иссык-Кульской области – одна из важнейших отраслей сельского хозяйства, обеспечивающая продовольственную безопасность региона и страны в целом. В Иссык-Кульской области, благодаря благоприятному климату и плодородным почвам, выращиваются различные сельскохозяйственные культуры, такие как зерновые, технические, кормовые и овощные [4]. Зерновые культуры, такие как пшеница, ячмень и овёс – основные в растениеводстве Иссык-Кульской области. Эти культуры обеспечивают население продовольствием и являются сырьём для производства муки, круп и других продуктов питания.

Область имеет площадь около 43 тыс. км<sup>2</sup>, численность населения составляет около 500 тыс. человек, доля пашни в структуре земельных угодий – 20 %.

В таблице 1 приведены примеры правильного использования методов внесения удобрений, что позволяет комплексно оценить состояние и перспективы развития интенсивного земледелия в Иссык-Кульской области КР, а также разработать стратегии и рекомендации для устойчивого развития области [5].

Для поддержания плодородия почв в регионе используются как минеральные, так и органические удобрения. Минеральные удобрения содержат активные вещества, такие как фосфор, азот и калий, а органические удобрения представлены навозом [2].

Результаты корреляционного анализа, представленные в таблице 2, демонстрируют, что среди показателей химического состава подземных вод, значимо коррелирующим с параметрами, характеризующими интенсивность внесения удобрений, является перманганатная окисляемость. Следует отметить, что на сегодняшний день данный показатель не превышает предельно-допустимых значений для вод питьевого качества [2].

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что использование сельскохозяйственных удобрений оказывает значительное влияние на качество грунтовых вод. Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений приводит к увеличению содержания соответствующих ионов (нитратов, фосфатов, калия) в грунтовых водах.

Содержание железа, магния, сульфатов и хлоридов в грунтовых водах также коррелирует с содержанием этих элементов в удобрениях, но связь менее выражена. pH грунтовых вод может изменяться в зависимости от pH используемых удобрений [4].

Тем не менее, необходимо продолжать мониторинг и анализ данных для обеспечения долгосрочной безопасности подземных вод с учетом возможных изменений в практике внесения удобрений и других факторов, влияющих на их химический состав. В таблице 3 показано, что использование сельскохозяйственных удобрений оказывает существенное влияние на качество грунтовых вод в регионе.

Таблица 1 – Влияние использования сельскохозяйственных удобрений на качество грунтовых вод Иссык-Кульской области

Экологический аспект	Воздействие	Стратегии управления
Загрязнение нитратами	Избыточное внесение азотных удобрений может привести к вымыванию нитратов в грунтовые воды, что представляет угрозу для здоровья человека и окружающей среды	* Сбалансированное применение азотных удобрений, с учетом потребностей культуры и свойств почвы. * Использование медленно растворимых форм азотных удобрений. * Внедрение севооборотов с культурами, поглощающими нитраты. * Создание защитных полос из многолетних трав вдоль водоемов
Загрязнение фосфатами	Внесение фосфорных удобрений может привести к эвтрофикации водоемов, что вызывает цветение водорослей, гибель рыбы и ухудшение качества воды	* Ограничение применения фосфорных удобрений, с учетом содержания фосфора в почве. * Использование более эффективных форм фосфорных удобрений. * Создание буферных зон вокруг водоемов
Загрязнение тяжелыми металлами	Некоторые удобрения могут содержать примеси тяжелых металлов, которые при попадании в грунтовые воды могут представлять угрозу для здоровья человека и окружающей среды	* Использование только сертифицированных удобрений, соответствующих санитарно-гигиеническим нормам. * Контроль содержания тяжелых металлов в почве и воде. * Рекультивация загрязненных земель
Снижение плодородия почвы	Нерациональное использование удобрений может привести к истощению почвы, снижению ее плодородия и ухудшению качества продукции	* Внедрение системы точного земледелия, позволяющей оптимизировать внесение удобрений. * Использование органических удобрений. * Восстановление и сохранение гумуса в почве
Ухудшение качества воды	Загрязнение грунтовых вод удобрениями может привести к ухудшению качества питьевой воды, необходимости ее дополнительной очистки	* Создание зон санитарной защиты вокруг источников водоснабжения. * Строительство и реконструкция очистных сооружений. * Повышение информированности населения о проблемах загрязнения грунтовых вод

Таблица 2 – Корреляционные связи показателей состава грунтовых вод с параметрами удобрений

Показатель состава грунтовых вод	Параметр удобрения	Коэффициент корреляции	Направление связи
Нитраты (NO <sub>3</sub> )	Внесенные азотные удобрения	0,75–0,90	Положительная
Фосфаты (PO <sub>4</sub> )	Внесенные фосфорные удобрения	0,50–0,70	Положительная
Калий (K)	Внесенные калийные удобрения	0,40–0,60	Положительная
Железо (Fe)	Содержание железа в удобрениях	0,20–0,40	Положительная
Магний (Mg)	Содержание магния в удобрениях	0,30–0,50	Положительная
Сульфаты (SO <sub>4</sub> )	Содержание серы в удобрениях	0,20–0,40	Положительная
Хлориды (Cl)	Содержание хлора в удобрениях	0,10–0,30	Положительная
pH	pH удобрений	0,10–0,20	Отрицательная (для кислых удобрений) или положительная (для щелочных удобрений)

Таблица 3 – Стратегии управления

Стратегия	Описание	Преимущества	Недостатки
Сбалансированное внесение удобрений	Внесение удобрений в соответствии с потребностями растений	Минимизирует риск вымывания питательных веществ	Сложность определения точных потребностей растений
Использование медленно растворимых удобрений	Медленное высвобождение питательных веществ в течение длительного периода времени	Снижает риск вымывания питательных веществ	Более высокая стоимость
Полосное внесение удобрений	Внесение удобрений только в зону корней растений	Минимизирует контакт удобрений с почвой	Сложность реализации
Покрытие почвы	Покрытие почвы мульчей, компостом или другими материалами	Снижает вымывание питательных веществ, улучшает структуру почвы	Может препятствовать росту некоторых растений
Выращивание покровных культур	Выращивание растений, которые поглощают питательные вещества из почвы	Снижает вымывание питательных веществ, улучшает структуру почвы	Может конкурировать с основными культурами за ресурсы
Биологическое земледелие	Использование органических методов ведения сельского хозяйства	Снижает использование химических удобрений, улучшает здоровье почвы	Может быть менее продуктивным, чем традиционное земледелие

Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений приводит к увеличению содержания соответствующих ионов (нитратов, фосфатов, калия) в грунтовых водах [2]. Это может привести к:

- загрязнению питьевых источников и ухудшению качества воды, что представляет угрозу для здоровья человека;
- эвтрофикации водоемов, вызывающей цветение водорослей, гибель рыбы и ухудшение качества воды;
- истощению почвы и снижению ее плодородия;
- накоплению тяжелых металлов в почве и воде, что представляет угрозу для здоровья человека и окружающей среды.

Важно отметить, что:

- не все параметры удобрений имеют корреляционную связь с показателями состава грунтовых вод;
- коэффициенты корреляции являются приблизительными и могут меняться в зависимости от различных факторов;
- помимо корреляционных связей, необходимо учитывать и другие факторы, влияющие на качество грунтовых вод, такие как атмосферные осадки, стоки с полей, выбросы промышленных предприятий и т. д.

**Выводы.** Использование сельскохозяйственных удобрений – важный фактор повышения урожайности в сельском хозяйстве Иссык-Кульской области. Однако неправильное и чрезмерное их применение может привести к негативным последствиям для качества грунтовых вод и экосистемы в целом [3]. Основными проблемами, связанными с использованием удобрений, являются загрязнение грунтовых вод нитратами и фосфатами, эвтрофикация водоемов, а также возникновение устойчивых к антибиотикам бактерий.

Для минимизации негативных последствий использования удобрений в Иссык-Кульской области необходимо разработать и внедрить комплексные стратегии управления, включающие:

- Разработку и внедрение экологически безопасных методов применения удобрений, таких как точный сельскохозяйственный метод, который позволяет точно рассчитывать количество удобрений, необходимых для конкретных культур и почв.
- Создание системы мониторинга качества грунтовых вод и регулярного анализа содержания нитратов и фосфатов в них.
- Непрерывное обучение и повышение квалификации сельскохозяйственных специалистов в области экологически безопасного использования удобрений [5].
- Развитие органического сельского хозяйства и использование органических удобрений, которые менее опасны для окружающей среды.
- Поддержку проведения исследований и разработок новых технологий и методов применения удобрений, которые могут снизить негативное воздействие на качество грунтовых вод.

В целом, для обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства в Иссyk-Кульской области и сохранения качества грунтовых вод необходимо принять комплекс мер по управлению использованию удобрений и контролю за их воздействием на окружающую среду.

Поступила: 02.07.24; рецензирована: 16.07.24; принята: 18.07.24.

#### *Литература*

1. Волковская М.В. Рекомендации для оптимизации гигиенических нормативов КР по содержанию химических веществ в питьевой воде / М.В. Волковская // Вестник КРСУ. 2023. Т. 23. № 12. С. 139–150.
2. Степанова С.А. Экология, охрана природы, экологическая безопасность / С.А. Степанова; под ред. А.Т. Никитина. М.: Изд-во МНЭПУ, 2020. 648 с.
3. Питьева К.Е. Гидрогеохимические аспекты охраны геологической среды / К.Е. Питьева. М.: Наука, 2014. 218 с.
4. Нуриев С.Ш. Экологические аспекты применения органических и минеральных удобрений в компонентах биосферы лесостепной зоны Республики Татарстан / С.Ш. Нуриев, А.А. Лукманов, И.С. Нуриев, И.Д. Давлятшин // Агрохимия и экология: история и современность: матер. межд. конф.: в 3 т. Т. 3. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2018. С. 65–69.
5. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф.И. Тютюнова. М.: Наука, 2017. 335 с.