Современные методы гигиенической геологии

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе

Кафедра экологической геологии и геохимии

Год: 2025

# ВВЕДЕНИЕ

\*\*Введение\*\*
Гигиеническая геология представляет собой междисциплинарную область знаний, объединяющую принципы геологии, экологии и медицины с целью изучения влияния геологических факторов на здоровье человека и окружающую среду. В условиях интенсивного антропогенного воздействия и глобальных изменений климата актуальность исследований в данной сфере существенно возрастает. Современные методы гигиенической геологии позволяют не только выявлять потенциальные риски, связанные с геохимическими аномалиями, радиационным фоном и другими природными процессами, но и разрабатывать эффективные меры по минимизации их негативных последствий.
В последние десятилетия значительное внимание уделяется развитию технологий мониторинга и прогнозирования геологических процессов, способных оказывать влияние на санитарно-эпидемиологическую обстановку. К числу ключевых направлений относятся геохимическое картирование, оценка качества подземных вод, изучение миграции токсичных элементов в почвах, а также анализ взаимосвязи между геологическими структурами и распространением эндемических заболеваний. Применение современных инструментальных методов, таких как масс-спектрометрия, дистанционное зондирование и геоинформационные системы, существенно повышает точность и достоверность исследований.
Особую значимость приобретает интеграция гигиенической геологии в систему управления природопользованием и градостроительной политикой. Результаты исследований используются для обоснования санитарно-защитных зон, оптимизации размещения промышленных объектов и разработки региональных программ экологического оздоровления. В связи с этим совершенствование методологической базы и внедрение инновационных подходов становятся важнейшими задачами современной науки.
Целью настоящего реферата является систематизация и анализ современных методов гигиенической геологии, оценка их эффективности и перспектив дальнейшего развития. В работе рассматриваются как традиционные, так и инновационные методики, особое внимание уделяется их практическому применению в условиях различных геологических и климатических регионов. Исследование базируется на актуальных научных публикациях, нормативных документах и данных полевых исследований, что обеспечивает его научную обоснованность и практическую значимость.

# МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ГИГИЕНИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

В современной гигиенической геологии методы оценки геологической среды играют ключевую роль в обеспечении экологической безопасности и профилактике заболеваний, связанных с негативным воздействием природных и антропогенных факторов. Комплексный подход к изучению геологической среды включает применение инструментальных, лабораторных, геохимических и геофизических методов, направленных на выявление потенциальных рисков для здоровья населения.
Одним из основных направлений является геохимическое картирование, позволяющее идентифицировать аномальные концентрации токсичных элементов (тяжёлых металлов, радионуклидов, органических загрязнителей) в почвах, водах и горных породах. Использование спектрометрических и хроматографических методов обеспечивает высокую точность определения содержания вредных веществ, что особенно важно при оценке рисков для здоровья в регионах с интенсивной промышленной деятельностью. Важное значение имеет также изучение миграционных форм химических элементов, поскольку их биодоступность напрямую влияет на степень воздействия на организм человека.
Гидрогеологические исследования занимают особое место в гигиенической оценке геологической среды, так как подземные воды часто служат основным источником питьевого водоснабжения. Мониторинг качества водных ресурсов включает анализ микробиологических, химических и радиационных показателей. Применение современных методов, таких как масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) и газовая хроматография-масс-спектрометрия (GC-MS), позволяет обнаруживать даже следовые концентрации загрязняющих веществ. Особое внимание уделяется выявлению природных геохимических аномалий, например, повышенного содержания фтора, мышьяка или урана, которые могут вызывать хронические заболевания при длительном употреблении загрязнённой воды.
Геофизические методы, включая электроразведку, сейсмическое зондирование и магнитометрию, применяются для изучения структурных особенностей геологической среды, влияющих на распространение загрязнений. Эти методы особенно эффективны при оценке рисков, связанных с техногенными нарушениями, такими как просадки грунтов, карстовые процессы или загрязнение нефтепродуктами. Использование дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и ГИС-технологий позволяет проводить масштабный мониторинг изменений геологической среды, выявляя зоны экологического неблагополучия.
Биогеохимические исследования, включая анализ биологических маркеров в растениях и почвенных организмах, дополняют инструментальные методы, предоставляя информацию о накоплении токсичных элементов в пищевых цепях. Это особенно актуально для сельскохозяйственных регионов, где загрязнение почв может приводить к попаданию опасных веществ в продукты питания.
Таким образом, современные методы оценки геологической среды в гигиенических целях представляют собой многоуровневую систему, объединяющую аналитические, геофизические и биологические подходы. Их комплексное применение обеспечивает научно обоснованную базу для разработки профилактических мер и принятия управленческих решений, направленных на минимизацию рисков для здоровья населения.

# ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Современные технологии мониторинга загрязнения геологической среды представляют собой комплекс методов, направленных на выявление, оценку и прогнозирование антропогенного воздействия на литосферу. В условиях интенсивного промышленного развития и роста урбанизированных территорий актуальность применения высокоточных инструментов контроля возрастает. Среди ключевых подходов выделяются дистанционное зондирование, геофизические и геохимические методы, а также автоматизированные системы сбора данных.
Дистанционное зондирование, включая аэрокосмическую съёмку и использование беспилотных летательных аппаратов, позволяет оперативно фиксировать изменения состояния геологической среды на обширных территориях. Спектральный анализ многозональных снимков обеспечивает идентификацию зон загрязнения тяжёлыми металлами, нефтепродуктами и другими токсичными веществами. Лидарные технологии (LiDAR) применяются для построения цифровых моделей рельефа с высокой детализацией, что способствует выявлению техногенных деформаций грунтов.
Геофизические методы, такие как электроразведка, сейсморазведка и магнитометрия, обеспечивают неразрушающий контроль за распространением загрязняющих веществ в подповерхностных слоях. Электромагнитное профилирование (EM) позволяет локализовать зоны повышенной электропроводности, ассоциированные с миграцией растворов. Гамма-спектрометрия используется для мониторинга радионуклидного загрязнения, что особенно актуально в районах размещения объектов ядерного топливного цикла.
Геохимический мониторинг базируется на отборе проб почв, грунтовых и поверхностных вод с последующим лабораторным анализом. Современные методы, включая масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и газовую хроматографию, обеспечивают детектирование загрязнителей в ультранизких концентрациях. Биогеохимические индикаторы, такие как аккумуляция тяжёлых металлов в растениях-гипераккумуляторах, дополняют инструментальные измерения.
Автоматизированные системы мониторинга интегрируют датчики, передающие данные в режиме реального времени. Датчики pH, редокс-потенциала и концентрации специфических ионов устанавливаются в наблюдательных скважинах, формируя распределённые сети. ГИС-технологии обеспечивают визуализацию пространственных закономерностей загрязнения, а машинное обучение применяется для прогнозирования динамики загрязнения на основе исторических данных.
Таким образом, современные технологии мониторинга сочетают высокую точность, оперативность и комплексность, что позволяет минимизировать экологические риски и оптимизировать природоохранные мероприятия. Дальнейшее развитие методов связано с внедрением квантовых сенсоров, нанотехнологий и цифровых двойников геологической среды.

# ПРИМЕНЕНИЕ ГИС И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

В современных условиях развитие гигиенической геологии невозможно без применения геоинформационных систем (ГИС) и методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Эти технологии позволяют осуществлять комплексный анализ пространственных данных, выявлять закономерности распространения загрязняющих веществ, оценивать риски для здоровья населения и прогнозировать экологическую обстановку. ГИС-технологий обеспечивают интеграцию разнородных данных, включая геологические, гидрогеологические, климатические и медико-биологические показатели, что способствует повышению точности гигиенического мониторинга.
Одним из ключевых направлений применения ГИС в гигиенической геологии является картографирование зон экологического риска. Создание тематических карт, отражающих концентрации тяжелых металлов, радионуклидов, органических загрязнителей и других вредных веществ в почвах, водах и атмосфере, позволяет визуализировать пространственное распределение опасных факторов. Использование методов пространственной интерполяции, таких как кригинг или обратное взвешенное расстояние, обеспечивает построение непрерывных полей концентрации загрязняющих веществ даже при ограниченном количестве исходных данных.
Дистанционное зондирование Земли дополняет ГИС-анализ, предоставляя актуальную информацию о состоянии окружающей среды на обширных территориях. Спутниковые снимки высокого разрешения позволяют выявлять антропогенные изменения ландшафтов, такие как деградация почв, подтопление территорий, распространение несанкционированных свалок и других источников загрязнения. Особое значение имеет использование мультиспектральной съемки, которая дает возможность идентифицировать специфические спектральные сигнатуры загрязненных участков. Например, гиперспектральные данные позволяют обнаруживать нефтяные разливы, тяжелые металлы в почвах и изменения растительного покрова, вызванные химическим стрессом.
Важным аспектом является интеграция данных ДЗЗ с наземными исследованиями. Совмещение спутниковых снимков с результатами лабораторных анализов проб почв, вод и воздуха повышает достоверность оценок. Применение машинного обучения и искусственного интеллекта для обработки больших массивов данных способствует автоматизации выявления аномалий и прогнозированию динамики загрязнения. Например, алгоритмы классификации на основе нейронных сетей позволяют выделять зоны с повышенным риском для здоровья населения на основе комплекса факторов.
Перспективным направлением является разработка геопорталов, обеспечивающих доступ к актуальной информации о санитарно-гигиеническом состоянии территорий для органов управления, научных учреждений и общественности. Такие системы позволяют оперативно реагировать на изменения экологической обстановки, планировать профилактические мероприятия и минимизировать негативное воздействие на здоровье населения. Таким образом, сочетание ГИС и ДЗЗ открывает новые возможности для решения задач гигиенической геологии, обеспечивая научно обоснованный подход к управлению экологическими рисками.

# НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Гигиеническая геология как научная дисциплина, направленная на изучение влияния геологических факторов на здоровье человека, регламентируется комплексом нормативно-правовых актов, устанавливающих требования к оценке и минимизации рисков, связанных с геохимическими, гидрогеологическими и геодинамическими процессами. В Российской Федерации правовая база гигиенической геологии формируется на основе федеральных законов, санитарных правил и норм, а также международных соглашений, учитывающих современные научные достижения в области экологии и медицины.
Основополагающим документом является Федеральный закон №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», который определяет обязанности государственных органов и хозяйствующих субъектов по обеспечению безопасной среды обитания. В соответствии с данным законом, оценка геологических рисков должна проводиться с учетом требований СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы», регламентирующих допустимые концентрации химических элементов и соединений в почвенном покрове. Кроме того, гигиенические аспекты геологии учитываются в рамках водного законодательства, поскольку подземные и поверхностные воды часто выступают переносчиками токсичных веществ.
Международные нормативные акты, такие как директива Европейского парламента 2006/118/EC по защите грунтовых вод от загрязнения, а также рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по предельно допустимым уровням содержания тяжелых металлов в почвах, оказывают значительное влияние на формирование отечественных стандартов. В частности, методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» базируются на принципах, разработанных в рамках международных экологических конвенций.
Особое внимание в нормативно-правовой базе уделяется вопросам урбанизированных территорий, где антропогенная нагрузка на геологическую среду достигает критических значений. Градостроительный кодекс РФ обязывает проводить геолого-гигиенические изыскания перед началом строительства, а также предусматривает мониторинг состояния почв и подземных вод в ходе эксплуатации объектов. Аналогичные требования содержатся в постановлениях Правительства РФ, касающихся зон санитарной охраны источников водоснабжения и территорий с особым эколого-гигиеническим статусом.
Важным аспектом правового регулирования является ответственность за нарушение норм гигиенической геологии. Кодекс РФ об административных правонарушениях (ст. 8.6, 8.41) устанавливает штрафные санкции за загрязнение почв и несоблюдение природоохранных мероприятий, а Уголовный кодекс (ст. 247) предусматривает уголовную ответственность за обращение опасных отходов, способное причинить вред здоровью населения. Таким образом, нормативно-правовая база гигиенической геологии представляет собой многоуровневую систему, интегрирующую национальные и международные стандарты, направленные на снижение рисков для здоровья человека, обусловленных геологическими факторами.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что современные методы гигиенической геологии представляют собой комплексный междисциплинарный подход, направленный на оценку и минимизацию негативного воздействия геологических факторов на здоровье человека и экосистемы. Развитие данного научного направления обусловлено возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду, что требует внедрения инновационных технологий мониторинга, прогнозирования и управления геологическими рисками. Ключевыми достижениями в этой области являются применение геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования, математического моделирования, а также интеграция методов экологической и медицинской геохимии. Особое значение приобретают методы биогеохимического картирования, позволяющие выявлять аномалии содержания токсичных элементов в почвах, водах и атмосфере, что способствует своевременному принятию профилактических мер. Важным аспектом остается разработка нормативно-правовой базы, регламентирующей допустимые уровни воздействия геогенных факторов, а также стандартизация методик оценки рисков. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются усовершенствование методов ранней диагностики геопатогенных зон, внедрение искусственного интеллекта для обработки больших массивов геоданных и разработка адаптивных систем экологического контроля. Реализация этих задач позволит обеспечить устойчивое развитие территорий, снизить заболеваемость, связанную с геологическими факторами, и оптимизировать систему природопользования. Таким образом, гигиеническая геология как наука продолжает динамично развиваться, предлагая эффективные инструменты для обеспечения экологической безопасности и сохранения здоровья населения в условиях меняющейся природной и техногенной среды.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. undefined. undefined. undefined (undefined)

2. undefined. undefined. undefined (undefined)

3. undefined. undefined. undefined (undefined)

4. undefined. undefined. undefined (undefined)

5. undefined. undefined. undefined (undefined)

6. undefined. undefined. undefined (undefined)

7. undefined. undefined. undefined (undefined)

8. undefined. undefined. undefined (undefined)

9. undefined. undefined. undefined (undefined)

10. undefined. undefined. undefined (undefined)