

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 528.9:553 (470.53)

## Использование геоинформационных систем для решения прогнозных инженерно-геологических задач при разработке месторождений полезных ископаемых

**П.А. Красильников**

Пермский государственный национальный исследовательский университет

614990, Пермь, ул. Букирева, 15

E-mail: Chisp07@gmail.com

(Статья поступила в редакцию 7 ноября 2019 г.)

Одной из приоритетных задач инженерной геологии при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом является изучение динамики изменения инженерно-геологических условий в результате влияния техногенного фактора и степени его воздействия на существующие здания и сооружения. Наиболее значимое антропогенное влияние связано с извлечением полезного ископаемого и вмещающей породы. В результате выработки подземного пространства происходят деформации земной поверхности, которые сводятся к оседанию, изменению кривизны, уклона, сжатию и растяжению горных пород, что в свою очередь приводит к изменению гидрологического и гидрогеологического режима, активизации экзогенных процессов и т.д. Приводятся результаты создания ГИС-системы для решения прогнозных задач изменения инженерно-геологических условий в результате техногенного воздействия. Использование ГИС-технологий позволяет обеспечить специалистов достоверной и оперативной информацией для оценки инженерно-геологических рисков на территории горных отводов и принимать обоснованные управленческие решения. Результатом прогнозного моделирования должен стать набор карт (картографических слоев) в пределах зоны влияния горных работ, содержащих следующую информацию: прогноз степени техногенного воздействия, прогноз изменения инженерно-геологических, гидрогеологических, геоэкологических условий, выявление объектов на земной поверхности, находящихся в зоне риска. На основании этих прогнозных расчетов необходимо разрабатывать мероприятия для снижения негативного воздействия. Такие информационные модели территории необходимы на всех этапах жизненного цикла месторождения, что позволит в любой момент времени получить качественную информацию об инженерно-геологических условиях осваиваемой территории.

Ключевые слова: *ГИС, инженерно-геологические условия, картографическое моделирование, месторождение, прогнозное моделирование.*

DOI: 10.17072/pсу.geol.19.1.65

### Введение

Инженерная геология месторождений полезных ископаемых как наука зародилась в середине 20-го века.

В монографии «Инженерная геология месторождений полезных ископаемых» (Ломтадзе, 1986) определена главная задача этой предметной области – изучение и оценка геологических условий функционирования системы «горная выработка – геологическая среда», получение необходимых данных для

проектирования строительства и эксплуатации шахт и карьеров. Соответственно для её решения необходимо детально изучить два фактора: геологическую среду и горно-технические условия разработки месторождения, т.е. технологию отработки, параметры геологических выработок, календарные сроки, время и способы проходки и т.д.

Однако эта модель идеально подходит для открытой системы разработки месторождений и не охватывает все задачи при закрытом способе добычи. В этом случае извлече-

ние горной массы, как основной целевой задачи геосистемы «месторождение», оказывает влияние не только на геологическую среду, но и на безопасность эксплуатации имеющихся наземных зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния горных работ. Кроме того, вскрытие месторождений при подземной разработке осуществляется шахтными стволами, которые являются сложными техническими сооружениями, обеспечивающими жизнедеятельность рудника на весь срок его эксплуатации. Поэтому предметом исследования инженера-геолога при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом являются изменения в функционировании трехкомпонентной системы «горная выработка – геологическая среда – сооружение» (рис.1).



**Рис. 1.** Элементы природно-технической системы «месторождение», находящиеся в области исследования инженера-геолога

Основной целью изучения инженерно-геологических условий месторождения на стадии геологоразведочных работ является получение информации, необходимой для обоснованного выбора способа его вскрытия и разработки в объеме, достаточном для составления проекта. Но задачам прогноза изменения инженерно-геологических условий в результате отработки полезного ископаемого уделяется не так много внимания, а они могут существенно измениться в результате хозяйственной деятельности человека и привести к негативным последствиям. Это особенно актуально, когда добыча полезного ископаемого ведется или велась подземным способом на активно освоенной территории.

Все задачи, стоящие перед инженером-геологом при освоении месторождений полезных ископаемых, на различных стадиях можно классифицировать следующим образом:

1. Оценка инженерно-геологических условий месторождения в объеме, достаточном для подсчета запасов и подготовки проекта разработки месторождения – стадия изучения территории полезного ископаемого;
2. Оценка влияния техногенного воздействия на инженерно-геологические условия и прогноз их изменений – стадия проектирования;
3. Контроль и корректировка принятых проектных решений, оценка устойчивости возводимых зданий и сооружений – стадия вскрытия и подготовки месторождения;
4. Производственный контроль и обеспечение безаварийной работы имеющихся зданий и сооружений – стадия эксплуатации;
5. Корректировка и контроль принятых проектом мероприятий по рекультивации – стадия рекультивации территории.

Очевидно, что решение этих инженерно-геологических задач возможно при наличии качественной информации, хорошо структурированной и удобной для обработки и анализа.

Одной из проблем инженерно-геологического обеспечения является то, что результаты выполненных инженерно-геологических исследований зачастую хранятся и передаются в бумажном или цифровом виде, но в форме отдельных электронных отчетов, что затрудняет использование этих данных для решения практических задач. Создание базы данных инженерно-геологических условий территории месторождения является необходимостью, позволяющей на более высоком уровне осуществлять обработку данных, их анализ и прогнозировать изменение инженерно-геологических условий во времени для принятия обоснованных управленческих решений. Кроме того, любое месторождение полезных ископаемых является природной системой, поэтому инструменты для ее изучения должны соответствовать внутренней структуре и связям между компонентами системы.

### Постановка проблемы

Одной из приоритетных задач инженерной геологии при освоении месторождений полезных ископаемых является изучение ди-

намики изменения инженерно-геологических условий в результате влияния техногенного фактора и степени его воздействия на существующие здания и сооружения.

Для решения таких задач необходимо моделирование функционирования системы трех функционально взаимосвязанных компонентов «выработка – геологическая среда – сооружение». Следовательно, информационный ресурс должен содержать информацию по всем трем компонентам природно-технической системы: геологическое строение, параметры горных работ, данные о конструктивных характеристиках существующих сооружений.

Решение эпигностических инженерно-геологических задач при освоении месторождений полезных ископаемых подразделяется на следующие этапы:

1. Изучение инженерно-геологических условий.
2. Оценка антропогенного воздействия в результате освоения месторождения.
3. Оценка и динамика инженерно-геологических условий под влиянием хозяйственной деятельности.
4. Идентификация зданий и сооружений, находящихся в зоне риска, – целевое районирование.

Результатом прогнозного моделирования должен стать набор карт (картографических слоев) в пределах зоны влияния горных работ, содержащих следующую информацию: прогноз степени техногенного воздействия, прогноз изменения инженерно-геологических, гидрогеологических, геоэкологических условий, выявление объектов на земной поверхности, находящихся в зоне риска. На основании этих прогнозных расчетов необходимо разрабатывать мероприятия для снижения негативного воздействия.

Традиционно прогнозные карты строятся в ручном или полуавтоматическом режиме, что требует существенных временных ресурсов.

Поэтому целью данной работы стало создание ГИС-системы для решения прогнозных задач изменения инженерной геологических условий в результате прогнозируемого оседания земной поверхности с использованием современных программных комплек-

сов, позволяющих в оперативном режиме осуществлять расчет, а при необходимости перерасчет техногенного воздействия в результате изъятия горной массы

### **Геоинформационный метод решения прогнозной задачи**

При разработке месторождений полезных ископаемых наиболее значимое антропогенное влияние связано с извлечением полезного ископаемого и вмещающей породы. Это воздействие является неизбежным следствием горно-геологической деятельности. Выработка подземного пространства вызывает изменения земной поверхности, которые сводятся к оседанию, изменению кривизны, уклона, сжатию и растяжению горных пород в результате горизонтальных и вертикальных деформаций.

До настоящего времени все расчеты деформации земной поверхности проводились в ручном или полуавтоматическом режиме по заданному профилю. Использование автоматических и полуавтоматических программно-аппаратных комплексов для расчета деформации земной поверхности существенно экономит время расчета, позволяет проводить его с разной степенью детализации и оперативно делать перерасчет при появлении новой информации.

Одним из возможных программных средств, способных справиться с решением поставленных задач, являются геоинформационные системы. Необходимость и возможность использования геоинформационных систем для решения инженерно-геологических задач обоснованы в докторской диссертационной работе С.В. Козловского. Им разработана концепция и рассмотрены принципы и методы создания геоинформационных систем в инженерной геологии. Доказано, что ГИС являются эффективным инструментом накопления и обработки больших объемов инженерно-геологической информации. Использование геоинформационных систем при решении производственных задач обеспечивает оптимальный уровень получения и применения инженерно-геологической информации (Козловский, 2010).

В работах российских исследователей (Геоинформационное обеспечение системы..., 2014; Осипов, Миронов, Беляев, 2015; Миронов, Викторов, Фесель, 2011; Разработка принципов и создание..., 2012; Систематизация материалов инженерно-геологических..., 2014) в качестве основного инструмента накопления и структурирования инженерно-геологической информации выступают ГИС-системы. Зарубежные ученые тоже акцентируют внимание на преимуществах использования ГИС. Так, в одной из работ (Liu S., Li W., 2018) использованы мощности ArcGis для геоэкологического зонирования территории в результате техногенного воздействия, вызванного подземной добычей угольных месторождений. На основе ГИС были синтезированы данные по 13 ключевым факторам, содержащие параметры добычи, состояния литосферы, гидросферы, экосферы и климатических условий. Результирующие тематические карты были построены с использованием программного обеспечения ArcGIS. В другой работе (Ou W., Zhao B., Dai Y., 2016) платформа ArcGIS применена для комплексной оценки риска возникновения оползней. На основе ГИС осуществлен синтез четырех динамических факторов: дождевые осадки, изменение уровня грунтовых вод, наличие растительности и техногенное воздействие. По мнению авторов вышеупомянутых работ, этот метод может обеспечить эффективную гарантию предотвращения геологических катастроф. В статье (V. Vaziri, J. Khademi Namidi, A.R. Saayadi, 2018) использованы геостатистические возможности ArcGis для прогнозирования газодинамических явлений в угольных шахтах. Её авторы подчеркивают потенциал применение ГИС-технологий для оценки геологических рисков. Таким образом, эффективность использования ГИС-систем для решения инженерно-геологических задач уже не вызывает сомнений.

Решение эпигностических задач начинается с подготовки исходных данных. Первым шагом является создание единого информационно-картографического пространства территории исследования, реализованного средствами ГИС. Геоинформационная система должна содержать в себе весь объем информации по объекту исследования (дан-

ные полевых и лабораторных работ), характеризующих современное состояние территории. Использование современных ГИС позволяет корректно накапливать и обобщать имеющуюся разнородную информацию по природно-технической системе «месторождение» и подготавливать качественный картографический материал. Они обладают возможностями издательских картографических систем и (с минимальными затратами) позволяют осуществлять синтез различных видов информации и проводить их корректировку.

Для оценки степени техногенного воздействия в результате изъятия горной массы в качестве исходных в ГИС-проекте необходимы следующие группы данных:

- о геологическом строении (четвертичные и дочетвертичные образования);
- об инженерно-геологических условиях территории;
- о гидрогеологических условиях;
- о геоэкологических условиях;
- горно-геологическая информация (параметры горных работ, геомеханические свойства породного массива, границы горных участков, календарный план отработки шахтного поля);
- информация о существующих и возводимых зданиях и сооружениях в пределах зоны влияния горных работ и их конструкционные характеристики.

Автором подготовлен и находится в постоянной работе ГИС-проект, обеспечивающий инженерные службы одного из калийных комбинатов Верхнекамского месторождения калийных солей исходными и прогнозными данными, связанными с безопасной подработкой водозащитной толщи и объектов на земной поверхности. Создаваемая система предназначена для хранения параметров горных работ, геомеханических свойств породного массива, календарного плана отработки шахтного поля. Исходные данные геологического строения породного массива и их количественные характеристики находятся в базе «Геоинформационный конструктор» (Khronusov, Barskiy, Krasilnikov, 2018).

Структура ГИС-проекта включает в себя следующие базовые категории. Исходные данные:

- топографическая основа территории;

- её инженерно-геологические условия;
- объекты поверхностного комплекса промплощадки и территории горного отвода;
- параметры горных работ.

Расчетные, прогнозные данные:

- расчет прогнозных оседаний и деформаций земной поверхности на различные моменты времени;
- прогноз изменения инженерно-геологических условий.

Фактические данные, в период мониторинга:

- исполнительная съемка, оседания и деформации земной поверхности, зафиксированные по факту;
- изменения инженерно-геологических условий.

Методологически прогноз изменения инженерно-геологических условий начинается с прогнозных оценок техногенного воздействия в результате изъятия горной массы. Для расчета прогнозных деформаций земной поверхности ГИС-проект должен включать набор определенных слоев, содержащих пространственное положение объектов и атрибутивную информацию. Все слои нужно представить в единой системе координат (рис. 2). Для выполнения расчетов необходимы слои с геомеханическим набором параметров, содержащих ширину и высоту камеры, ширину целика, мощность коржей, мощность вышележащей толщи, степень заполнения закладкой, степень усадки, начало и окончание выемочных и закладочных работ, среднее содержание нерастворимого остатка, агрегатная прочность.

Для выполнения прогнозных расчётов программистами ООО «Информ+++» разработан программный модуль, в основу кото-

рого легла утвержденная методика. Для удобства работы была реализована возможность импорта и экспорта данных из геоинформационной системы ArcGis. Таким образом, все необходимые данные импортированы из созданной геоинформационной системы. В этом случае ГИС-проект является основой для расчетной системы геомеханического назначения.

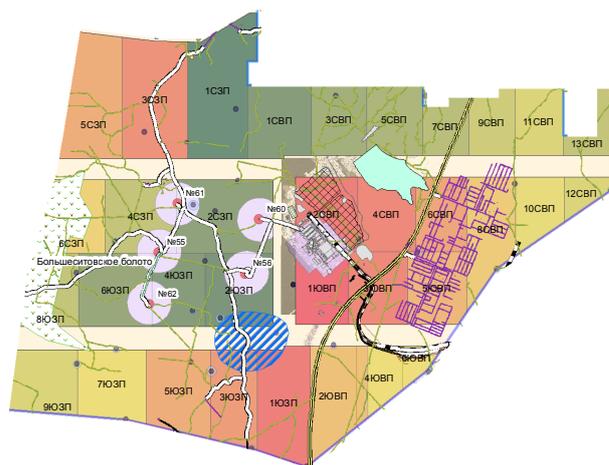


Рис. 2. Раскройка шахтного поля, содержащая параметры отработки

При выполнении расчетов необходимо указать расстояние между расчетными линиями и расстояние между пикетами. По окончании расчетов формируется Excel-таблица, в которой генерируются координаты каждой расчетной точки и прогнозные деформации. В дальнейшем данные загружаются в ArcGis, где происходит их дальнейшая обработка.

В результате проведены расчеты на различные периоды времени, которые визуализированы средствами ГИС в двухмерном и трехмерном виде (рис. 3).

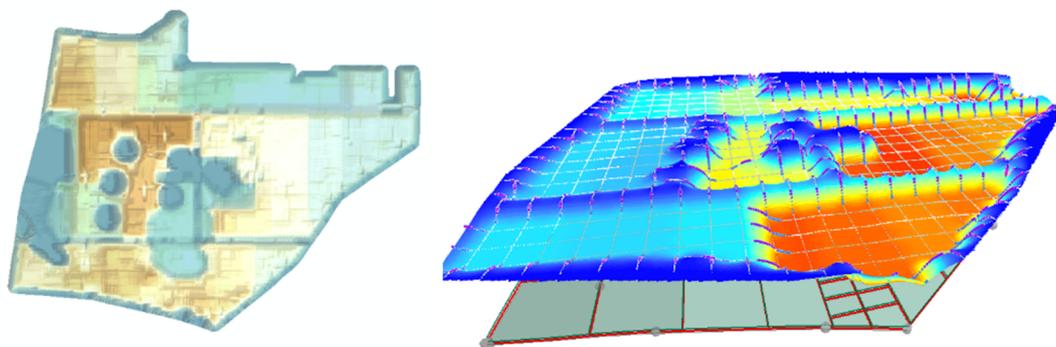
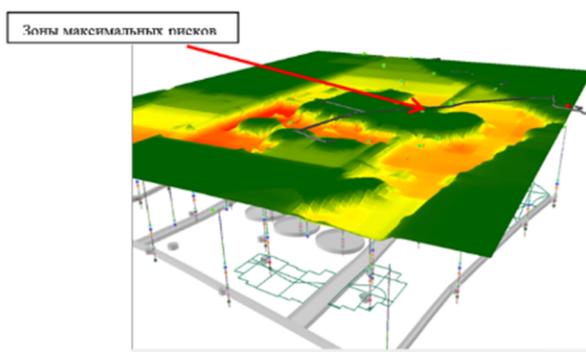


Рис. 3. Прогнозные оседания и их 3D визуализация средствами ArcGIS

На основе проведенных расчетов составляется прогнозная карта районирования по степени воздействия горных работ на деформацию земной поверхности, которая обеспечивает устойчивость зданий и сооружения через 20 и 100 лет. Пространственно совместив расчетные данные деформаций земной поверхности с существующими коммуникациями, были определены зоны риска.

Наибольшую опасность возникновения аварийных ситуаций представляют не участки максимальных оседаний, а зоны перехода от стабильных участков к деформируемым (рис. 4).



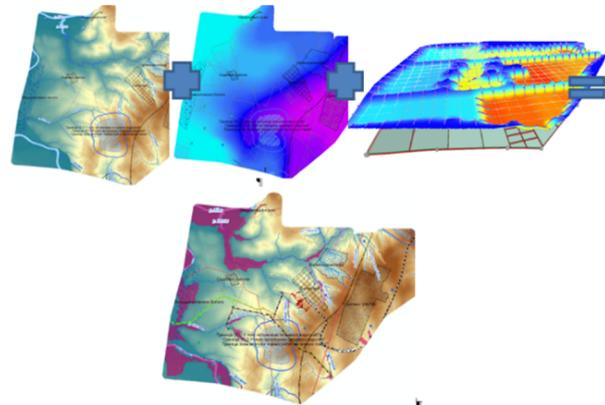
**Рис. 4.** 3D визуализация оседаний и существующего нефтепровода

Следующим этапом является оценка влияния техногенного воздействия на инженерно-геологические условия. Наиболее значимыми изменениями в результате деформаций земной поверхности будут формирование бессточных котловин, подтопление и заболачивание территории, активизация эрозионных процессов; изменение физико-механических свойств грунтов в краевых частях мульды сдвижения (формирование сжимающих и растягивающих напряжений в грунтовой толще).

В этом случае ГИС-системы являются мощным инструментом обработки пространственных данных. Так, на основе оверлейного анализа земной поверхности, поверхности водного зеркала и поверхности прогнозных оседаний на интересующий нас временной отрезок прогнозируются зоны затопления и подтопления территории (рис.5).

Для оценки эрозии использовались коэффициенты вертикальной и горизонтальной расчленённости рельефа, механический состав почв и залесенность территории. В этом случае использование ГИС для расчета ме-

тодом скользящего окна существенно повышает качество и детальность расчётов при минимальных временных затратах. Инструментарии ГИС позволяют использовать любую форму оценочной ячейки и задавать процент перекрытия скользящего окна.



**Рис. 5.** Синтез данных средствами Arcgis

Для создания синтетических карт преимущества использование ГИС тоже очевидны. Возможности растрового калькулятора (инструментария Arcgis) позволяют суммировать различные факторные признаки и присваивать необходимые повышающие коэффициенты.

### Результаты исследования

Использование современных компьютерных технологий при решении задач прогнозирования инженерно-геологических условий под влиянием техногенных факторов значительно упрощает работу инженера-геолога. При этом создание информационно-аналитических систем на основе ГИС-технологий позволяет обеспечить специалистов достоверной и оперативной информацией для оценки инженерно-геологических рисков на территории горных отводов и принятия управленческих решений.

В этом случае геоинформационные системы могут стать хорошей инструментальной базой, позволяющей не только геостатистически обрабатывать большие объемы пространственных данных, но и визуализировать их в 3D виде. Кроме того, уже не вызывает сомнения утверждение о том, что подготовка результирующего картографического материала в ГИС-системах очень удобна и может обеспечить соответствие всем требованиям, предъявляемым к цифровому картографическому материалу.

Такие информационные модели территории необходимо вести на весь период разработки месторождения и даже после его рекультивации, что позволит в любой момент времени получить качественную информацию о состоянии горных пород на осваиваемой территории.

Реализация предложенного метода хранения, обработки и анализа информации позволяет:

- 1) на всех этапах жизненного цикла освоения территории иметь актуальную информацию о состоянии грунтового массива;
- 2) при возникновении нестандартных ситуаций получить достоверную и оперативную информацию для принятия управленческих решений;
- 3) накопить структурированный и легкодоступный для анализа фактический материал, на основе которого можно будет установить новые закономерности и получить новые знания.

Автор считает, что внедрение ГИС-моделирования позволяет использовать в камеральной обработке инженерно-геологических данных комплекс неформальных методов геологического анализа и реализовать комплексные методологические и математические подходы.

#### Библиографический список

Коноплев А.В., Копылов И.С., Красильников П.А., Кустов И.В. Геоинформационное обеспечение системы инженерно-геологической и геоэкологической безопасности города Перми // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2014. С 56–78.

Коноплев А. В., Копылов И. С., Пьянков С. В., Наумов В.А., Ибламинов Р.Г. Разработка принципов и создание единой геоинформационной системы геологической среды г. Перми (инженерная

геология и геоэкология) // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 632.

Козловский С.В. Теория и практика создания геоинформационной системы в инженерной геологии: автореф. дис. ... д-р г.-м.н наук. М., 2010.

Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1990 г.

Миронов О. К., Викторов А. А., Фесель К. И. О проблемах ведения баз данных фондовой информации // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. №5. С.455–464.

Осипов В.И., Миронов О.К., Беляев В.Л. Постоянно действующая ГИС геологической среды как инструмент для обоснования градостроительного проектирования объектов инфраструктуры (на примере г. Москвы) // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 159–172.

Профессиональное программное обеспечение в области неогеографии и ГИС // Информ ++. URL: <http://www.informpp.com/programmnoe-obespecenie> (дата обращения: 26.08.2019).

Пьянков С.В., Осовецкий Б.М., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г. Систематизация материалов инженерно-геологических изысканий на основе ГИС-технологий // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-2. С. 353–356.

Khronusov V.V., Barskiy M.G., Krasilnikov P.A. Engineering geology software database for urban areas // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2018. SGEM18(2.2). P. 163–170.

Liu S., Li W., Wang Q. Zoning method for environmental engineering geological patterns in underground coal mining areas // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 634. P. 1064–1076.

Ou W., Zhao B., Dai Y. Information quantity model applied in hazard evaluation of landslides-A case study of fuling, chongqing // 2016 6th International Workshop on Computer Science and Engineering, WCSE. 2016. P. 777–781.

Vaziri V., Khademi Hamidi J., Sayadi, A.R. An integrated GIS-based approach for geohazards risk assessment in coal mines // Environmental Earth Sciences. 2018. N. 77(1), P.29.

## Geoinformation Technology of Engineering-Geological Forecasting in the Development of Mineral Deposits

P.A.Krasilnikov

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia. E-mail: Chisp07@gmail.com

One of the priorities of engineering geology in the development of underground mineral deposits is the dynamics of changes in geotechnical conditions as a result of anthropogenic factors and the degree of impact on existing buildings and structures. The most significant anthropogenic impact is associated with the extraction of minerals and host rocks. As a result of the development of the underground space, deformations of the earth's surface occur. It results in the subsidence features, changes in curvature, slope, compression and extension of rocks as a re-

sult of horizontal and vertical deformations. In turn, it leads to a change in the hydrological and hydrogeological regime, activation of exogenous processes, etc. This article presents the results of the creation of a GIS system to solve the forecast problems of changing engineering and geological conditions as a result of anthropogenic impact. The use of GIS technologies allows specialists to provide reliable and relevant information for assessing geotechnical risks in mining areas and making proper management decisions. The result of prognostic modeling should be a set of maps (cartographic layers) in the zone of influence of mining operations, containing the following information: forecast of the degree of anthropogenic impact, forecast of changes in geotechnical, hydrogeological, engineering and geological conditions, identification of objects on the earth's surface that are in danger. Based on these predictive calculations, it is necessary to develop measures to reduce the negative impact. Such informational models of the territory should be supported at all stages of the life cycle of the field that will allow receiving high-quality information about the engineering and geological conditions of the developed territory at any time.

Key words: *GIS; engineering and geological conditions; cartographic modeling; deposit; forecast modeling.*

## References

- Khronusov V.V., Barskiy M.G., Krasilnikov P.A.* 2018. Engineering geology software data-base for urban areas. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2018. SGEM18(2.2), p. 163–170
- Konoplev A. V., et.al.* 2012. Razrabotka printsipov i sozdanie edinoi geoinformatsionnoy sistemy geologicheskoy sredy g. Permi (inzhenernaya geologiya i geokologiya) [Development of principles and the creation of a unified geographic information system of the geological environment of the city of Perm (engineering geology and geocology)]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 6: 632. (in Russian)
- Konoplev A.V., Kopylov I.S., Krasilnikov P.A., Kustov I.V.* 2014. Geoinformatsionnoe obespechenie sistemy inzhenerno-geologicheskoy i geokologicheskoy bezopasnosti goroda Permi [Geo information support of the engineering-geological and geoecological safety system of the city of Perm]. PSU, Perm, p. 56–78. (in Russian)
- Kozlovskiy S.V.* 2010. Teoriya i praktika sozdaniya geoinformatsionnoy sistemy v inzhenernoy geologii. [Theory and practice of creating a geo information system in engineering geology]. Diss. Dr. geol.-min nauk. Moskva, 2010. (in Russian)
- Liu S., Li W., Wang Q.* 2018. Zoning method for environmental engineering geological patterns in underground coal mining areas. *Science of the Total Environment*. 634:1064–1076.
- Lomtadze V.D.* 1990. Inzhenernaya geologiya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh [Engineering geology of mineral deposits]. Nedra, Moskva. (in Russian)
- Mironov O.K., Viktorov A.A., Fesel K.I.* 2011. O problemakh vedeniya baz dannykh fondovoy informatsii [On the problems of maintaining databases of stock information]. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 5:455–464. (in Russian)
- Osipov V.I., Mironov O.K., Belyaev V.L.* 2016. Postoyanno deystvuyushchaya GIS geologicheskoy sredy kak instrument dlya obosnovaniya gradostroitel'nogo proektirovaniya obektov infrastruktury (na primere g. Moskvy) [Permanent GIS of the geological environment as a tool to justify urban planning of infrastructure objects (on example of Moscow)]. *Vestnik MGSU*. 2:159–172. (in Russian)
- Ou W., Zhao B., Dai Y.* 2016. Information quantity model applied in hazard evaluation of landslides—A case study of fuling, Chongqing. *In: 6th International Workshop on Computer Science and Engineering, WCSE*, pp. 777–781.
- Pyankov S.V., Osovetskiy B.M., Konoplev A.V., Iblaminov R.G.* 2014. Sistematizatsiya materialov inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy na osnove GIS [Systematization of materials for engineering and geological surveys based on GIS technology]. *Fundamentalnye issledovaniya*. 11-2:353–356. (in Russian)
- Professionalnoe* programnoe obespechenie v oblasti neogeografii i GIS [Professional software in the field of neogeography and GIS.] URL: <http://www.informpp.com/programmnoe-obespechenie> (Accessed 26.08.2019).
- Vaziri V., Khademi Hamidi J., Sayadi, A.R.* 2018. An integrated GIS-based approach for geohazards risk assessment in coal mines. *Environmental Earth Sciences*. 77(1):29.