

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.852:622.882

DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-22-32



КОНТРОЛЬ НАРУШЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Иванов Е.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Данная статья исследует влияние горнодобывающих предприятий на природный ландшафт и экологию местности. Приводятся результаты проведенных исследований, которые показывают, что нарушение земной поверхности при добыче руды разными способами имеет различные последствия. Рассматривается влияние как открытого, так и подземного способа добычи на природную среду. Особое внимание уделяется нарушению земной поверхности, образованию провалов и их влиянию на окружающую среду и жителей. Приводится конкретный пример подземного рудника, где обрушение кровли выработок привело к образованию провалов земной поверхности. Анализируются причины и последствия такого обрушения, а также пути восстановления провалившейся земной поверхности при помощи двухкомпонентных полимерных смол. Исследование нарушенных площадей земной поверхности при подземной разработке месторождений имеет большое значение по нескольким причинам. Во-первых, такие разработки являются важным источником добычи полезных ископаемых, но при этом часто сопровождаются нарушениями земной поверхности, представляющими опасность. Исследования в этой области помогут разработать методы и технологии для минимизации нарушений и обеспечения безопасности. Во-вторых, нарушение земной поверхности может негативно влиять на окружающую среду и биоразнообразие. Исследования нарушенных площадей позволят разработать меры для обеспечения экологической безопасности. В-третьих, подземная разработка месторождений требует применения новых методов и технологий. Исследования в области рекультивации улучшат технические решения, снизят затраты и воздействие на окружающую среду. Также возникает потребность в постоянном контроле и мониторинге подземных работ. Исследование на эту тему важно и может улучшить безопасность и эффективность данных процессов.

Ключевые слова: горнодобывающие предприятия, нарушение земной поверхности, провалы, подземная разработка, экологическое воздействие, рудник, природная среда

© Иванов Е.А., 2024

Для цитирования

Иванов Е.А. Контроль нарушенных площадей земной поверхности при подземной разработке месторождения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 22-32. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-22-32>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

MONITORING OF DISTURBED AREAS OF THE EARTH SURFACE DURING UNDERGROUND MINING

Ivanov E.A.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. This article examines the impact of mining enterprises on the natural landscape and ecology of the area. The presented results of the conducted studies show that the earth surface disturbance during ore extraction in different ways has different consequences. The article describes the influence of both open and underground mining methods on the natural environment. Special attention is paid to the earth surface disturbance, the formation of sinkholes and their impact on the environment and residents. The article contains a specific example of an underground mine, where the collapse of the roof of the workings led to the formation of sinkholes on the earth surface. The author analyzes causes and consequences of such collapse, as well as ways to restore the collapsed earth surface using two-component polymer resins. Research into the disturbed areas of the earth surface during underground mining is of great importance for several reasons. Firstly, such mining is an important source of mineral extraction, but often accompanied by disturbances of the earth surface, presenting a danger. Research into this area will help develop methods and technologies to minimize disruption and ensure safety. Secondly, land disturbance can negatively impact the environment and biodiversity. Research into the disturbed areas contributes to developing measures to ensure environmental safety. Thirdly, underground mining requires the use of new methods and technologies. Research into this area will improve technical solutions, reduce costs and environmental impact. There is also a need for constant control and monitoring of underground work. Research into this topic is important and can improve safety and efficiency of these processes.

Keywords: mining enterprises, earth surface disturbance, sinkholes, underground mining, environmental impact, mine, natural environment

For citation

Ivanov E.A. Monitoring of Disturbed Areas of the Earth Surface During Underground Mining. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 22-32. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-22-32>

Введение

При подземной разработке месторождения контроль нарушенных площадей земной поверхности играет важную роль. Этот аспект является ключевым в процессе осуществления подземных работ, поскольку он позволяет детально оценить воздействие данных работ на природную среду и проводить необходимые мероприятия по минимизации негативных последствий.

Контроль нарушенных площадей земной поверхности предполагает систематическое наблюдение и фиксацию изменений, происходящих на участках склонов, надземных территорий и других прилегающих объектов в результате подземных работ. Для этого применяются специальные геодезические и геотехнические методы, которые позволяют точно определить уровень деформаций, смещения, наклона и других параметров, связанных с процессом разработки. Полученные данные позволяют выявить потенциальные угрозы стабильности земной поверхности, такие как образование трещин, провалов, оседаний земной поверхности. Это важно для определения допустимых пределов нагрузки и принятия решений по регулированию дальнейших подземных работ.

Одним из основных аспектов контроля нарушенных площадей земной поверхности является мониторинг геологической обстановки вокруг месторождения. Это включает изучение состава горных пород, гидрогеологических условий, наличие опасных геологических процессов и других факторов, которые могут повлиять на безопасность и эффективность подземной разработки.

В связи с растущим интересом к подземной разработке месторождения вопрос контроля нарушенных площадей земной поверхности становится все более актуальным. Необходимо постоянное внимание к этому аспекту и разработка эффективных методов мониторинга, которые обеспечат безопасность подземных горных работ и устойчивость горного массива.

Таким образом, контроль нарушенных площадей земной поверхности при подземной разработке месторождения играет важную роль в обеспечении безопасности и эффективности данного процесса. Постоянное наблюдение и анализ данных мониторинга позволяют своевременно выявлять и устранять потенциальные проблемы, обеспечивая устойчивость и надежность подземной разработки.

Целью исследования является анализ контроля нарушенных площадей земной поверхности при подземной разработке месторождения.

Материалы и методы исследования

Методы исследования показаны в анализе отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, синтез, наблюдение.

Горнодобывающие предприятия, несомненно, влияют на природный ландшафт, ухудшают структуру почвенного слоя и экологию местности в негативную сторону. В конечном итоге нарушения приводят к деградации или гибели растительного покрова, изменению водных режимов, исчезновению фауны. Большинство исследований вопроса нарушенных территорий связаны с месторождениями, разрабатываемыми открытым способом [1-3].

Горнорудная практика показывает, что воздействия на недра открытого и подземного способов разработки существенно отличаются, в первую очередь, по геометрическим параметрам. Нарушение земной поверхности недр при подземном способе определяется параметрами зон деформации горного массива [4-6].

Исследования по рассматриваемой теме ведутся в направлении выявления особенностей протекания карстовых процессов в зависимости от типов пород и характера разработок. Так, К.О. Худельких применительно к одному из месторождений строительного гипса Пермского края была определена схема организации карстологического мониторинга. Созданы базы данных геологической и карстологической информации, сформированы картографические пакеты на основе ГИС-платформы, связанные друг с другом. Указанное информационное обеспечение позволило определить две основные проблемы, с которыми сталкиваются при разработке месторождений, где полезное ископаемое представлено карстующимися породами: внезапные провалы и разубоживание. Относительно внезапных провалов предложен метод их прогнозирования, касательно разубоживания полезного ископаемого – представлена типизация карстовых форм, позволяющая принимать оперативные управленческие решения, направленные на снижение влияния данного процесса. В итоге безопасность ведения горных работ на месторождении стабилизировалась, а качество гипсового камня значительно выросло.

Представленная автором система карстологического мониторинга безусловно доказала свою работоспособность, тем не менее она постоянно подвергается анализу с целью выявления в ней недостатков и их устранения, а также внесения корректировок и новых программ наблюдений. Она может быть применена на любом месторождении в условиях открытой разработки, где полезное ископаемое представлено карстующимися породами, залегающими первыми от поверхности и осложненными карстовыми процессами [7]. Е.Ю. Ефремов рассмотрел характеристики уплотнения пород зоны обрушения Северопесчанского месторождения. В его работе исследуется развитие процесса воронкообразования при подземной разработке месторождений в условиях скальных массивов горных пород. В качестве полигона исследований используется Северопесчанское железорудное месторождение. Методика исследований базируется на анализе объемов

горных выработок и провалов с возрастом от 5 до 50 лет и определении коэффициента разрыхления обрушенных пород, по изменению которого с течением времени можно судить о возможном завершении процесса воронкообразования в горном массиве. Для определения объемов провалов земной поверхности применяется фотограмметрическая съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов. Результаты наблюдений показывают взаимосвязь показателей уплотнения обрушенного массива и времени существования воронки. Установлено, что в течение нескольких десятилетий после появления воронки обрушения скорость деформирования массива горных пород существенно снижается [8].

В.П. Хоменко, В.С. Крашенинников исследовали возможности противокарстовой защиты и признаки подготовки провалообразования. Согласно данным авторам, обеспечение безаварийной эксплуатации объектов промышленного, гражданского и других видов строительства, возводимых на карстоопасных территориях, – одна из важнейших технических задач современности. В их работе изложены принципы рационального выбора способов инженерной защиты строительных объектов, размещаемых на карстоопасных участках, где в ходе инженерно-геологических изысканий обнаружены признаки подготовки провалообразования. Эти признаки идентифицируются по наличию в пределах участка погребенных карстовых оседаний или провалов, зон суффозионного разуплотнения несвязных горных пород, перекрывающих растворимые породы, зон разупрочнения дисперсных пород, перекрывающих карстовые полости, а также присутствию в растворимых породах незакольматированных полостей. Последовательно рассмотрена целесообразность и эффективность применения в данных условиях отдельных видов и технических приемов противокарстовой защиты, используемых в нашей стране и за рубежом. Отмечена необходимость учета признаков подготовки карстового провалообразования при назначении противокарстовых мероприятий. Практическая значимость такого учета заключается в том, что он позволяет избегать серьезных инженерных ошибок, иногда допускаемых в ходе проектирования или осуществления противокарстовой защиты [9].

Также существуют исследования по технологиям ликвидации провалов горных пород. Анализ проектов по ликвидации горных выработок, выполненных Т.А. Тюленевой, показал, что большинство аварий, связанных с повреждением поверхности земли, вызваны критическими значениями горного давления в пустующих пространствах, снижением несущей способности опор или их отсутствием, а также потерей устойчивости опорных сооружений. Оперативное удаление образовавшихся провалов не всегда обеспечивает положительные результаты, так как часто материалом для их заполнения является порода без исследования свойств земной поверхности, куда он закладывается. Данное обстоятельство приводит к тому, что провалы вновь активизируются, особенно при затоплении. В связи с этим обоснование параметров метода уstra-

нения провалов является актуальной научно-практической задачей. Проблема стабильности ликвидированных горных выработок, а следовательно, геомеханической и экологической безопасности в местах их прокладывания решается только с использованием системного подхода, предполагающего решение комплекса вопросов по минимизации влияния каждого фактора образования провалов как в пространстве, так и во времени. В её статье описаны подходы к определению технологических параметров комбинированного способа устранения провалов горных выработок, применяемого с учетом геологических характеристик горных пород и горно-технических условий их расположения, использование которого обеспечит обоснованный расчет комплекса инженерных показателей для гарантированного удаления провалов [10].

Как показывает отечественная и зарубежная практика [11-14], техногенные пустоты недр, формирующиеся при освоении месторождений твердых полезных ископаемых, являются основным источником интенсивного негативного воздействия на природную среду на всех этапах жизненного цикла освоения месторождения. Провалы земной поверхности при подземной разработке месторождения могут иметь серьезные последствия как для окружающей среды, так и для людей, проживающих вблизи района разработки. Возможные последствия таких провалов многообразны и разрушительны:

1. Уничтожение зданий и инфраструктуры: провалы могут привести к разрушению зданий, дорог, мостов и другой инфраструктуры на земной поверхности. Это может вызвать серьезные экономические потери и причинить вред жизни и здоровью людей.

2. Ущерб окружающей среде: провалы могут привести к утрате экосистем, земель и водных ресурсов. Это может привести к ухудшению качества почвы и воды, уничтожению растительности и животного мира, а также нарушению экосистемных функций.

3. Угроза безопасности: провалы могут представлять угрозу для безопасности людей, проживающих вблизи района разработки. Если провалы происходят в населенных районах, это может привести к эвакуации жителей и созданию временных убежищ. Кроме того, провалы могут привести к образованию опасных напряженно-деформированных зон, которые могут быть опасными для различных видов деятельности (например, строительства, добычи).

4. Снижение геологической стабильности: провалы могут указывать на возможные проблемы с геологической стабильностью месторождения. Это может означать, что месторождение может быть нерентабельным или может потребовать дополнительных издержек и мер безопасности для дальнейшей разработки.

5. Экономические потери: провалы, особенно если они происходят в основных центрах экономической деятельности, могут вызывать значительные экономические потери. Помимо непосредственных убытков от разрушений, провалы могут привести к упадку бизнеса, потере рабочих мест и сокращению экономической активности в регионе.

Наиболее существенные негативные последствия сопровождают открытый способ разработки полезных ископаемых и выражаются в отчуждении земельных площадей под карьеры и внешние отвалы, а также в размещении инфраструктурных объектов горнодобывающих предприятий и транспортных коммуникаций. Как правило, такие нарушения в десятки раз выше, чем при подземном способе разработки. При этом наблюдается существенная трансформация земной поверхности, а вновь образуемый рельеф местности характеризуется неустойчивостью [15].

Однако необходимо отметить, что последствия применения подземного способа разработки могут быть не менее опасными [16], что объясняется более глубоким проникновением в земные недра, а также относительной скрытостью последствий в земной толще.

На примере подземного рудника, расположенного в Забайкальском крае, согласно проведенным наблюдениям можно оценить масштаб причиненного вреда для экосистемы местности.

На участке «Южный» произведено вскрытие и подготовительные работы для очистной выемки трех верхних горизонтов: +825, +775, +725 м. Проектом предусмотрены две системы разработки: с магазинированием руды и с отбойкой руды из подэтажных штреков. После отработки нескольких блоков на горизонтах +825 – +775 м произошло обрушение кровли выработок и образовались провалы земной поверхности. Проведенные наблюдения представлены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Провал земной поверхности над участком «Южный»

Fig. 1. The sinkhole of the earth surface above the Yuzhny site

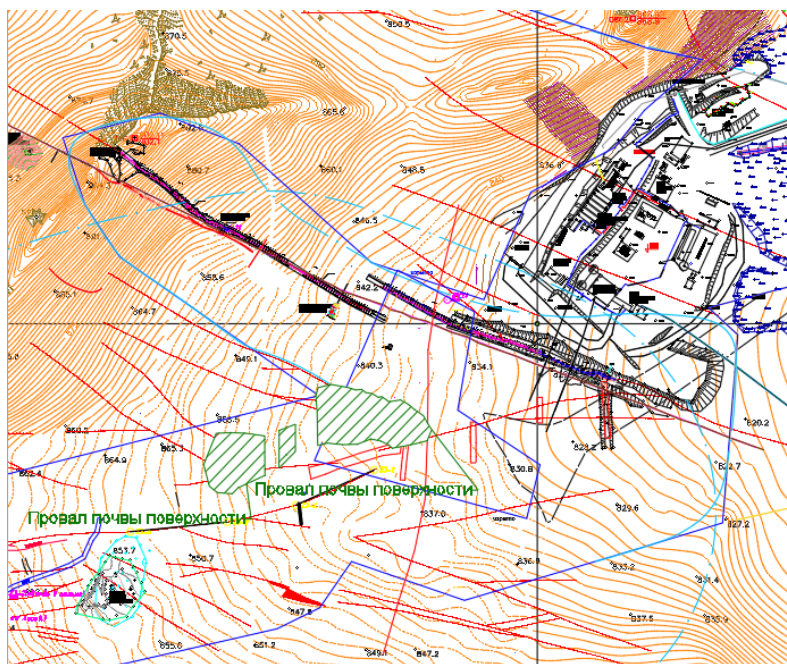


Рис. 2. Ситуационный план участка «Южный» с обозначениями площади провалов земной поверхности
 Fig. 2. The general layout of the Yuzhny site with the indicated areas of the earth surface sinkholes

Использованные для исследования провалов методы включали осмотр, геодезические замеры, наблюдения с фиксированием очертаний и площадей провалов.

Для прогнозирования динамики провалов применялся метод качественного анализа почвенного состава и особенностей геоморфологии земного массива.

Провалы в земной поверхности возникли из-за несоответствия проектных решений реальным условиям горной породы. В процессе разработки рудника произошло необратимое разрушение горных пород, что привело к образованию провалов. Также ситуацию могло усугубить недостаточное регулирование напряжений или неверный расчет мощностей целиков.

После произошедших обвалов породы отработка некоторых блоков в настоящее время на горизонте не представляется возможной. Также возникли затруднения со схемой проветривания участка горных работ и с эксплуатацией флангового восстающего, выходящего на земную поверхность, находящегося за зоной провала. С приходом весеннего сезона вследствие снеготаяния значительно увеличилась обводненность горных выработок.

Согласно проводимым наблюдениям маркшейдерской службы рудника, общая площадь провалов на декабрь 2022 года составила 4848 м². Площадь провалов земной поверхности участка «Южный» представлена на **рис. 2**.

Данная ситуация создает ряд проблем и препятствий для ведения добывающих работ в руднике:

1. Образование провалов и обвалов породы привело к невозможности отработки некоторых блоков на горизонте. Это приводит к снижению объемов добычи и потере ценной руды.

2. Затруднения с проветриванием участка озна-

чают, что воздух в подземных выработках может быть недостаточно чистым, что может негативно сказываться на безопасности рабочих и усложнять выполнение работ.

3. Обслуживание флангового восстающего, выходящего на земную поверхность за зоной провала, также стало затруднительным.

4. Обводненность подземных выработок из-за таяния снега создает новую проблему. Влажность в выработках может негативно влиять на качество работы и производительность рабочих, а также повышать риск возникновения опасных ситуаций, связанных с водой.

Общая площадь провалов, указанная в наблюдениях маркшейдерской службы, настолько велика, что также является серьезным показателем того, что ситуация требует немедленного вмешательства и принятия мер по восстановлению безопасности и нормального функционирования рудника. Данная ситуация создала необходимость проведения комплексных инженерно-геологических исследований, разработки плана восстановления земной поверхности, а также принятия меры по управлению подземными водами, проветриванию и безопасности.

При разработке плана восстановления после образования провалов, появившихся в результате работ по добыче, наблюдения за земной поверхностью являются важным этапом. Наблюдения позволяют оценить состояние земной поверхности, выявить зоны потенциальной опасности и принять необходимые меры для предотвращения возможных негативных последствий.

Для проведения наблюдений за земной поверхностью на практике предлагается использовать следующие методы:

1. Геодезические измерения: проведение геодезических измерений позволяет выявить деформации и изменения высотных отметок на земной поверхности. Это может быть осуществлено с помощью установки геодезических марок, применения спутниковой геодезии или использования современных технологий, таких как лазерное сканирование [17].

2. Геофизические методы: использование геофизических методов, таких как сейсмические, гравитационные, электромагнитные и магнитные исследования, поможет выявить изменения в подземных структурах и уровнях напряжений, которые могут быть связаны с провалами [18].

3. Аэрофотосъемка и дистанционное зондирование: использование спутниковых снимков и дистанционного зондирования позволяет получить обширную информацию о геодезической структуре и изменениях на земной поверхности, включая провалы и другие деформации.

4. Ручные методы наблюдения: проведение ручных наблюдений, включая визуальный осмотр зон потенциальной опасности и замеры деформаций, также может быть полезным для оценки состояния земной поверхности.

Порядок проведения наблюдений за земной поверхностью будет зависеть от конкретной ситуации и требований рудника. Обычно это включает в себя планирование и организацию работ, выбор методов наблюдений, сбор данных, анализ результатов и принятие решений на основе полученной информации.

Первый этап наблюдения за провалом земной поверхности и состоянием подземных горных выработок на участке «Южный» проводились на протяжении 4 месяцев с декабря по март 2023 года. К марту 2023 года площадь провалов увеличилась и составляет 5790,2 м². Затем был полевой выезд на месторождение в ноябре 2023 года, площадь провалов достигла 6210 м². Часть провалов увеличились по площади и в глубину (рис. 3).

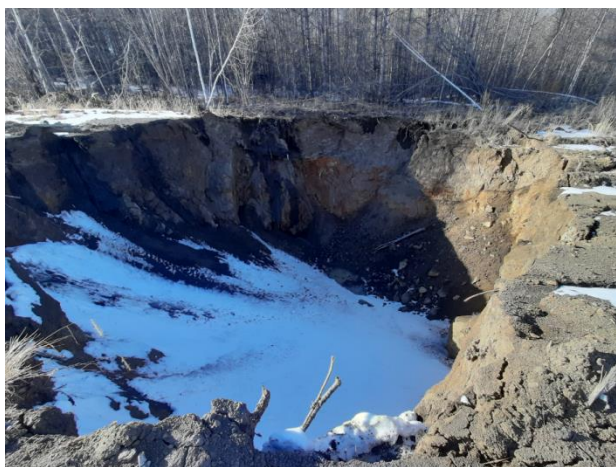


Рис. 3. Увеличение площади и глубины провала
Fig. 3. Increasing the sinkhole area and depth

Согласно маркшейдерским наблюдениям в период декабрь 2022 года – март 2023 года, а также ноябрь 2023 года составлена зависимость площади нарушенной поверхности от времени (рис. 4).

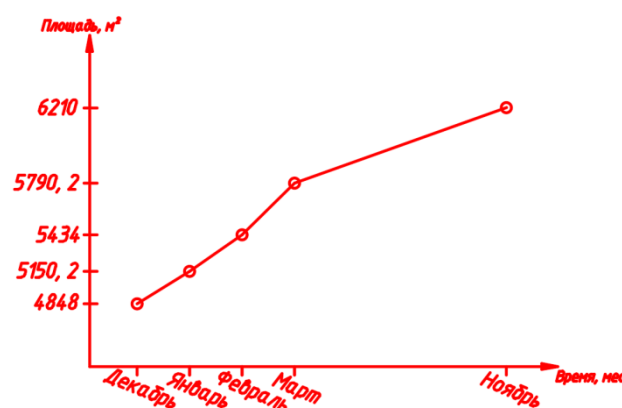


Рис. 4. Зависимость нарушенной площади поверхности от времени

Fig. 4. Relationship between the disturbed surface area and time

Согласно проведенным наблюдениям за период исследования площадь провала увеличилась на 1362 м², что в процентном соотношении составляет 22%.

Выявленная прямая зависимость площади нарушенной земной поверхности рудника от времени объясняется несколькими факторами:

1. Динамика работы рудника: поскольку рудник активно добывает полезные ископаемые в указанный период времени, площадь нарушенной поверхности рудника будет возрастать пропорционально объему добычи.

2. Негативные воздействия на окружающую среду: другим фактором, который может приводить к увеличению площади нарушенной земной поверхности, являются негативные воздействия на окружающую среду, такие как землетрясения, оползни, разрушение горных пород.

Для предотвращения развития площади провалов предлагается провести работы по инъекционному укреплению горных пород с использованием двухкомпонентных полимерных смол [8, 19, 20].

Технология инъекционного укрепления горных пород с использованием двухкомпонентных полимерных смол является методом укрепления горных пород путем введения специальных полимерных смол в его поры и трещины. Процесс укрепления горных пород начинается с осуществления предварительного анализа состояния горных пород и определения необходимости его укрепления. Далее производится предварительная подготовка горных пород. Затем происходит подготовка инъекционной смолы. Она состоит из двух компонентов – смолы и отвердителя. Компоненты смешиваются в определенных пропорциях в специальном смесительном устройстве.

В процессе инъекции смолы в горные породы используется специальное оборудование – насос и инъ-

екционное устройство. Смесь подается под давлением в специальное инъекционное оборудование, которое перемещает ее в трещиноватые породы. Далее происходит процесс реакции смолы с водой, в результате которого смола твердеет и прочно закрепляет породный массив. Этот процесс называется полимеризацией.

Инъекционное закрепление горных пород с использованием полимерных смол имеет ряд преимуществ. Во-первых, он позволяет создать прочные связи между породным массивом и смолой, увеличивая его прочностные характеристики и стабильность. Во-вторых, данный метод позволяет укреплять породы в труднодоступных местах, таких как трещины и полости. В-третьих, этот метод является относительно быстрым и малозатратным.

Для определения фактического расхода материала, радиуса закрепления, прочностных и деформационных характеристик пород необходимо было провести опытные работы по стабилизации горных пород близ площади нарушенных земель по следующей технологической схеме:

– Материалы и оборудования при проведении работ: двухкомпонентные полимерные смолы, емкости под материалы, забивные трубы-инъекторы, двухкомпонентный пневматический насос для подачи смол, трубопровод сжатого воздуха до места проведения испытаний, подвод электроэнергии, буровое оборудование.

– Схема закрепления пород: первый опытный участок расположить за границей возможного обрушения пород – для безопасного расположения оборудования и материалов. Последующие участки стабилизации пород подвигать в направлении обрушенного массива горных пород.

На **рис. 5** изображена расчетная схема опытного участка закрепления пород.

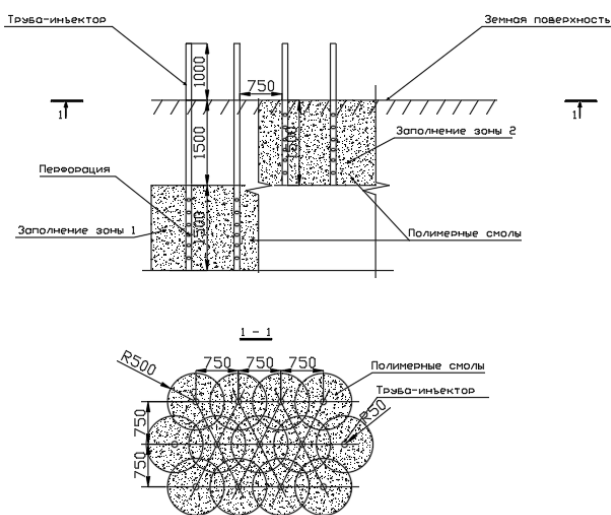


Рис. 5. Расчетная схема опытного участка закрепления пород

Fig. 5. Design diagram of the experimental rock consolidation site

Вышеуказанная двухкомпонентная смола производится российской компанией, что упрощает возможность ее применения в связи с географической и экономической доступностью.

После отработки подземных блоков, попадающих в зоны обрушения, появляется возможность провести горнотехническую рекультивацию посредством заполнения провалов пустой породой, ранее полученной при проведении подземных горных выработок с помощью имеющегося технологического оборудования на производстве. Этап горнотехнической рекультивации местности, нарушенной от горнодобывающих работ, с использованием двухкомпонентных полимерных смол и с помощью заполнения провалов пустой породой осуществляется по следующей технологии:

1. Предварительная подготовка: перед началом рекультивации необходимо провести предварительную оценку состояния закрепленного массива, провести анализ качества и состава пустой породы для заполнения провалов. Также может потребоваться удаление лишних материалов или разрушенных участков массива горных пород.

2. Определение объема пустой породы: на основе геологической информации и размеров провалов определяется необходимый объем пустой породы, который будет использован для заполнения провалов.

3. Подготовка пустой породы: используя имеющееся горнотехническое оборудование и материалы, пустая порода готовится для дальнейшего использования. Это может включать дробление негабаритов, сортировку и промывку материала.

4. Наполнение провалов: пустая порода загружается в готовые провалы с использованием горнотехнического оборудования, такого как экскаваторы, телескопические погрузчики. Материал равномерно распределяется по всей поверхности провалов, чтобы создать плотное и стабильное заполнение.

5. Укладка и утрамбовка: после наполнения провалов пустой породой материал трамбуется при помощи специальной техники, такой как виброплиты, катки. Это делается, чтобы обеспечить достаточную плотность материала и устойчивость заполнения.

6. Завершающие работы: после завершения наполнения и утрамбовки можно провести дополнительные мероприятия по рекультивации, такие как восстановление рельефа, посев растительности или проведение других мероприятий по озеленению.

Важно отметить, что этап горнотехнической рекультивации должен быть проведен с применением соответствующих технологий и соблюдением экологических стандартов. Также рекультивационные мероприятия могут быть уникальными для каждого конкретного месторождения и должны быть адаптированы в соответствии с данными условиями и требованиями.

Далее необходимо проводить биологический этап рекультивации по природоохранному направлению. В период данного этапа со склада почвенно-раститель-

ного слоя (ПРС), имеющегося на руднике, следует разместить на месте бывших провалов ПРС, провести посев трав и кустарников. Также, учитывая, что вокруг нарушенных земель произрастают травы, кустарники и деревья, в дальнейшем будет происходить самозарастание рекультивированных площадей [21, 22].

Примеры крупнейших провалов массива горных пород при проведении горнодобывающих работ на рудниках в различных странах мира также свидетельствуют о возможности проведения восстановления земной поверхности:

1. Рудник Omai, Гайана: в 1995 году на руднике Omai произошел крупнейший провал, когда бассейн хвостохранилища обрушился, вызвав разлив токсичного химического раствора в окружающие водоемы. Устранение последствий провала потребовало чрезвычайных усилий по очистке воды и восстановлению экологического равновесия.

2. Рудник Panguna, Букуа-Торо, Папуа-Новая Гвинея: в 1989 году на руднике Panguna произошел провал земной поверхности после многолетних горнодобывающих работ. Обрушение вызвало затопление долины реки Жваривари и загрязнение окружающих водных и экосистем. Устранение провала включало в себя дренаж и очистку воды, а также меры по восстановлению затронутых зон.

3. Рудник Hamne и Bisha, Эритрея: в 2018 году на рудниках Hamne и Bisha в Эритрее произошли провалы земной поверхности, в результате которых образовалась большая трещина, проникающая в массив горных пород. Устранение разрушений включало укрепление стенок трещин с помощью специальных технологий и методов.

В каждом из этих случаев провалы горного массива на горнодобывающих объектах привели к серьезным экологическим катастрофам и требовали сложных и масштабных работ по ликвидации последствий [23-25].

На основании проведенного обзора можно сделать следующие выводы:

1. Горнодобывающие предприятия оказывают негативное влияние на природный ландшафт, структуру почвы и экологию местности.

2. Провалы земной поверхности при горнодобывающих работах могут иметь серьезные последствия для окружающей среды и людей.

3. Несоответствие проектных решений реальным условиям рудника и недостаточное наблюдение за состоянием напряжений массива могут вызывать провалы земной поверхности.

4. Провалы могут значительно затруднить дальнейшую работу на руднике и стать причиной обводнения подземных выработок.

5. Площадь провалов может увеличиваться со временем, что требует принятия мер по устранению и предотвращению их распространения.

6. Рекомендуется использовать инъекционное закрепление горных пород с помощью полимерных

смолов для предотвращения развития провалов. Аналогичная технология запатентована и применяется на горнодобывающих предприятиях [26].

На основании полученных выводов сформулируем рекомендации по работе с провалами земной поверхности, образующимися при проведении горнодобывающих работ:

1. Активное контролирование и мониторинг провалов: постоянное наблюдение за провалами и их распространением. Установка системы раннего предупреждения для своевременного реагирования на возможные угрозы. Если существует опасность дальнейшего распространения провала, принятие необходимых мер для его предотвращения.

2. Использование жидких полимерных растворов: для стабилизации массива в местах обрушений и провалов целесообразно применять жидкие полимерные растворы. Они помогут укрепить горные породы, что позволит предотвратить дальнейшее разрушение и распространение провалов.

3. Засыпка провалов пустой породой: чтобы предотвратить дальнейший рост площади провала, рекомендуется производить засыпку провалов пустой породой. Это можно сделать с помощью имеющейся техники на производстве. Однако перед этим необходимо провести детальное исследование и обеспечить безопасность и стабильность заменяемой породы.

Добычные работы могут иметь серьезные последствия для экосистемы и требуют тщательного анализа условий горных пород и принятия соответствующих мер для предотвращения провалов и минимизации негативных последствий. Важно помнить, что каждая ситуация уникальна, поэтому рекомендуется провести детальное исследование перед разработкой плана конкретных действий по восстановлению конкретной местности.

Заключение

В результате обзора горнодобывающих работ можно сделать следующие выводы. Горнодобывающие предприятия оказывают негативное влияние на природный ландшафт, почву и экологию. Провалы земной поверхности, возникающие при работах, могут иметь серьезные последствия для окружающей среды и людей, что видно в приведенных примерах в статье. Несоответствие проектных решений и недостаток контроля также способствуют возникновению провалов. Это может затруднить работу на руднике и привести к обводнению выработок. Площадь провалов может увеличиваться со временем, требуя принятия мер для их устранения и предотвращения распространения. Рекомендуется активно контролировать и мониторить провалы, проводить оценку запасов и состояния залежей. В качестве первого этапа технической рекультивации использовать полимерные растворы для стабилизации горных пород. Следующим этапом провалы следует засыпать пустой породой после детального исследования и обеспечения без-

опасности. Далее проводить мероприятия по биологической рекультивации. Важно проводить тщательный анализ условий и принимать соответствующие меры для предотвращения провалов и минимизации последствий. Каждая ситуация требует уникального подхода и детального исследования местности.

Список источников

1. Бондалетова Л.И. Промышленная экология: учеб. пособие / Томский политехн. ун-т. Томск, 2002. 168 с.
2. Васильченко А.В. Рекультивация нарушенных земель: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2. Оренбург: ОГУ, 2017. 158 с.
3. Должиков П.Н., Фурдей П.Г., Ивлиева Е.О. Ресурсосберегающие технологии ликвидации подземных пустот закладочными смесями на основе отходов производства: сб. науч. тр. ДонГТУ. Алчевск: ИПЦ «Ладо», 2012. Вып. 37. С. 217-224.
4. Облицов Д.С., Опрышко А.Ю. Современные подходы к горнотехнической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. №10. С. 191-194.
5. Должиков П.Н., Прокопов А.Ю. Геодинамические процессы в гидроактивизированных подработанных горных массивах: монография. Ростов-н/Д.: РГСУ, 2015. 149 с.
6. Должиков П.Н., Легостаев С.О., Хамидуллина Н.В. Методы стабилизации деформационных процессов земной поверхности на подработанных территориях // Перспективы развития строительных технологий: матер. междунар. науч.-практ. конф. Днепро: НГУ, 2018. С. 41-43.
7. Ефремов Е.Ю. Характеристики уплотнения пород зоны обрушения Северопесчанского месторождения // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. Уральская горнопромышленная декада: сб. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2021. С. 179-186.
8. Худельких К.О. Мониторинг развития карстовых процессов при разработке месторождений строительного гипса // Известия Уральского государственного горного университета. 2021. №4(64). С. 116-129.
9. Хоменко В.П., Крашенинников В.С. Противокарстовая защита и признаки подготовки провалообразования // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №9. С. 54-58.
10. Тюленева Т.А. Совершенствование технологии ликвидации провалов над горными выработками // Техника и технология горного дела. 2021. №1(12). С. 4-26.
11. Sadykov V.B., Baygurin Z.D., Altayeva A.A. New approach to zone division of surface of the deposit by the degree of sinkhole risk // Scientific Bulletin of National Mining University. 2019, no. 6, pp. 31-35.
12. Sinkhole occurrence monitoring over shallow abandoned coal mines with satellite-based persistent scatterer interferometry / Malinowska A.A., Witkowski W.T., Hejmanowski R. et al. // Engineering geology. 2019, vol. 262, pp. 105336.
13. Должиков П.Н., Прокопова М.В., Хамидуллина Н.В. Натурные исследования провалов над горными выработками закрытых шахт // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. №4. С. 3-11.
14. Прокопов А.Ю., Гридневский А.В., Хамидуллина Н.В. Обеспечение безопасной эксплуатации здания в условиях влияния негативных геологических и техногенных факторов // Строительство. Архитектура. Экономика: материалы Междунар. форума «Победный май 1945 года». Ростов-н/Д.: ДГТУ, 2018. С. 64-67.
15. Абдибаитов Ш.А., Ганиев Ж.М., Эрматов М.А. Методы погашения подземных пустот на рудниках // Горный журнал. 2020. Т. 1. С. 142-146.
16. Айнбиндер И.И., Каплунов Д.Р. Риск-ориентированный подход к выбору геотехнологий подземной разработки месторождений на больших глубинах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №4. С. 5-19.
17. Храмов Б.А., Былин И.П., Корнеев П.В. Методика определения напряжений в массиве горных пород с использованием высокоточных геодезических измерений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №8. С. 125-129.
18. Ботиров Ш. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости массива горных пород с использованием современных маркшейдерских приборов // Академические исследования в современной науке. 2022. №1(13). С. 162-166.
19. Костромин М., Панина Т. Влияние разработки месторождений полезных ископаемых Забайкалья на окружающую и геологическую среду // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: Уральская горнопромышленная декада: сб. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2021. С. 212-218.
20. Славиковская Ю.О. Техногенные пустоты недр как фактор негативного воздействия на окружающую среду при разработке месторождений твердых полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. №2. С. 33-44.
21. Шеломенцев И.Г., Славиковская Ю.О. Классификация техногенных пустот недр с учетом направления использования ресурсного потенциала для целей экологической реабилитации территорий горнопромышленного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №12. С. 127-140.
22. Экзарьян В.Н. Оценка экологических последствий в районах разработки месторождений полезных ископаемых // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых: материалы годичной сессии Научного

совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в рамках Года экологии в России. Москва, 2017. Т. 19. С. 81-86.

23. Marian D.P., Onica I. Analysis of the geomechanical phenomena that led to the appearance of sinkholes at the lupeni mine, Romania, in the conditions of thick coal seams mining with longwall top coal caving // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 11, pp. 6449.
24. 3D geostatistical modelling for identifying sinkhole disaster potential zones around the Verkhnekamskoye potash deposit (Russia) / Royer J.J., Litaudon J., Filippov L.O. et al. // Journal of Physics: Conference Series. 2017, vol. 679, no. 1, pp. 12018.
25. Stacey T.R. Addressing the consequences of dynamic rock failure in underground excavations // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016, no. 49, pp. 4091-4101.
26. Пат. RU 2 171 894 с2 Российская Федерация, МПК е21d 9/00. Способ проходки горных выработок в сложных горно-геологических условиях/ Понасенко Л.П.; заявитель и патентообладатель ОАО «Кузбасский научно-исследовательский институт шахтного строительства "Кузниишахтострой"». Заявка: 99110655/03, 1999.05.21.

References

1. Bondaletova L.I. *Promyshlennaya ekologiya: ucheb. posobie* [Industrial ecology: study guide]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2002, 168 p. (In Russ.)
2. Vasilchenko A.V. *Rekultivatsiya narushennykh zemel: ucheb. posobie: v 2-kh ch. Ch. 2* [Land rehabilitation: study guide: in 2 parts. Part 2]. Orenburg: Orenburg State University, 2017, 158 p. (In Russ.)
3. Dolzhikov P.N., Furdey P.G., Ivlieva E.O. Resource-saving technologies of filling underground voids with backfill blend based on industrial waste: collection of research papers of Donbas State Technical University. Alchevsk: Lado, 2012, no. 37, pp. 217-224. (In Russ.)
4. Oblitsov D.S., Opryshko A.Yu. Currently used approaches to mining reclamation. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2011;(10):191-194. (In Russ.)
5. Dolzhikov P.N., Prokopov A.Yu. *Geodinamicheskie protsessy v gidroaktivirovannykh podrabotannykh gornyykh massivakh: monografiya* [Geodynamic processes in hydro-activated subsided rock massifs: monograph]. Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2015, 149 p. (In Russ.)
6. Dolzhikov P.N., Legostaev S.O., Khamidullina N.V. Methods of stabilizing deformation processes of the earth surface on subsided areas. *Perspektivy razvitiya stroitelnykh tekhnologiy: mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Prospects of development of construction technologies: proceedings of the international scientific and practical conference]. Dnipro: NGU, 2018, pp. 41-43. (In Russ.)
7. Efremov E.Yu. Characteristics of compacting rocks of the caving zone on the Severopeschansky deposit. *Innovatsionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy. Uralskaya gornopromyshlennaya dekada: sb. dokl. X Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Innovative geotechnologies, when developing ore and non-metalliferous deposits. Ural mining decade: collection of research paper of the 10th International Scientific and Technical Conferences]. Yekaterinburg, 2021, pp. 179-186. (In Russ.)
8. Khudelkikh K.O. Monitoring of karst processes development, when mining gypsum fields. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of Ural State Mining University]. 2021;(4(64)):116-129. (In Russ.)
9. Khomenko V.P., Krashennikov V.S. Sinkhole protection and indicators of prepared sinkholes. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Construction]. 2020;(9):54-58. (In Russ.)
10. Tyuleneva T.A. Improving technology for elimination of voids above mining workings. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela* [Engineering and Technology of Mining]. 2021, no. 1(12), pp. 4-26. (In Russ.)
11. Sadykov B.B., Baygurin Z.D., Altayeva A.A. New approach to zone division of surface of the deposit by the degree of sinkhole risk. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2019;(6), 31-35.
12. Malinowska A.A., Witkowski W.T., Hejmanowski R. et al. Sinkhole occurrence monitoring over shallow abandoned coal mines with satellite-based persistent scatterer interferometry. *Engineering Geology*. 2019;262:105336.
13. Dolzhikov P.N., Prokopova M.V., Khamidullina N.V. Field studies on sinkholes above mine workings of closed mines. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [News of Tula State University. Earth sciences]. 2018;(4):3-11. (In Russ.)
14. Prokopov A.Yu., Gridnevskiy A.V., Khamidullina N.V. Ensuring a safe operation of a building in conditions of influence of negative geological and industry-related factors. *Stroitelstvo. Arkhitektura. Ekonomika: materialy Mezhdunar. foruma «Pobednyi may 1945 goda»* [Construction. Architecture. Economics: proceedings of the International Forum "Victorious May of 1945"]. Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2018, pp. 64-67. (In Russ.)
15. Abdibaitov Sh.A., Ganiev Zh.M., Ermatov M.A. Methods of filling sinkholes on mines. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2020;1:142-146. (In Russ.)
16. Ainbinder I.I., Kaplunov D.R. A risk-oriented approach to choosing geotechnologies of underground mining of deposits at great depths. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2019;(4):5-19. (In Russ.)
17. Khramtsov B.A., Bylin I.P., Korneev P.V. A procedure for determining stresses in rock massif, using

- high-accuracy geodetic measurements. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin of Shukhov Belgorod State Technological University]. 2017;(8):125-129. (In Russ.)
18. Botirov Sh. Development of measures aimed at ensuring stability of rock massif, using modern mine surveying instruments. *Akademicheskie issledovaniya v sovremennoy nauke* [Academic Studies in Modern Science]. 2022;(1(13)):162-166. (In Russ.)
 19. Kostromin M., Panina T. Influence of mining of the Transbaikal mineral deposits on ecological and geological environment. *Innovatsionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy: Uralskaya gornopromyshlennaya dekada: sb. dokl. X Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Innovative geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits. Ural Mining Decade: proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference]. Yekaterinburg, 2021, pp. 212-218. (In Russ.)
 20. Slavikovskaya Yu.O. Industry-related voids of subsoil as a factor of negative environmental impact, when developing deposits of solid minerals. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2021;(2):33-44. (In Russ.)
 21. Shelomentsev I.G., Slavikovskaya Yu.O. Classification of industry-related voids of subsoil, factoring into an area of using resource potential for the purposes of ecological rehabilitation of mining areas. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2019;(12):127-140. (In Russ.)
 22. Ekzaryan V.N. Assessment of environmental consequences in areas of mining mineral deposits. *Sergeevskie chteniya. Geoekologicheskaya bezopasnost razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh: materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geokologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii v ramkakh Goda ekologii v Rossii* [The Sergeev Readings. Geocological safety of mineral deposit mining: proceedings of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences for problems of geocology, engineering geology and hydrogeology as part of the Year of Ecology in Russia]. Moscow, 2017, vol. 19, pp. 81-86. (In Russ.)
 23. Marian D.P., Onica I. Analysis of the geomechanical phenomena that led to the appearance of sinkholes at the Lupeni mine, Romania, in the conditions of thick coal seams mining with longwall top coal caving. *Sustainability*. 2021;13(11):6449.
 24. Royer J.J., Litaudon J., Filippov L.O. et al. 3D geostatistical modelling for identifying sinkhole disaster potential zones around the Verkhnekamskoye potash deposit (Russia). *Journal of Physics: Conference Series*. 2017;679(1):12018.
 25. Stacey T.R. Addressing the consequences of dynamic rock failure in underground excavations. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016;(49):4091-4101.
 26. Ponasenko L.P. *Sposob prokhodki gornyykh vyrabotok v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh* [Method of driving of mine workings under complicated geological conditions]. Patent RU, no. 2171894C2, 1999.

Поступила 31.01.2024; принята к публикации 03.06.2024; опубликована 27.06.2024
Submitted 31/01/2024; revised 03/06/2024; published 27/06/2024

Иванов Евгений Александрович – аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.
Email: ugienjohnn@mail.ru. ORCID 0009-0009-6401-3357

Evgeny A. Ivanov – postgraduate student of the Department of Mineral Deposits Development, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.
Email: ugienjohnn@mail.ru. ORCID 0009-0009-6401-3357