

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ КАК ЧАСТЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Наталья Анатольевна Немова

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, д.54, , к.т.н., старший научный сотрудник, тел. 89628426717, e-mail: nemova-nataly@mail.ru

Александр Владиславович Резник

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, д.54, , к.т.н., научный сотрудник, тел. 89231145306, e-mail: a-reznik@mail.ru

Владимир Николаевич Карпов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, д.54, , к.т.н., старший научный сотрудник, тел. 89538784334, e-mail: karpov@misd.ru

Показано, что масштабы нарушения земель при недропользовании возрастают, что ведёт к росту отрицательного влияния на окружающую среду и угрозам полной потери ценности земли. Рассмотрены вопросы рекультивации нарушенных земель в России и за рубежом. Отмечено, что законодательством предусмотрены технический и биологический этапы их восстановления. Предложено дополнительно учитывать рекреационно-строительный этап рекультивации, целью которого является повторное использование площадей карьеров, отвалов и терриконов для промышленного и гражданского строительства, создания рекреационных зон, искусственных водоемов. Для моделирования работ по рекультивации возможно применение стандартных программных средств, позволяющих визуализировать и исследовать объекты восстановления. Широко реализуемая в настоящее время концепция масштабной цифровизации месторождений позволяет предложить и оценить меры по уменьшению экологического вреда пользователей недр и земель посредством внедрения принципов «зеленой экономики».

Ключевые слова: рекультивация, нарушенные земли, экологическая безопасность, цифровизация, моделирование, «зеленая экономика»

MODELING THE PROCESS OF LAND RESTORATION AS PART OF THE DIGITALIZATION OF DEPOSITS

Natalya A. Nemova

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Krasny pr. 54, Novosibirsk, 630091, Russia, candidate of Technical Sciences, senior researcher ,phone: 89628426717, e-mail: nemova-nataly@mail.ru

Aleksander V. Reznik

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Krasny pr. 54, Novosibirsk, 630091, Russia, candidate of Technical Sciences, research associate, phone: 89231145306, e-mail: a-reznik@mail.ru

Vladimir N. Karpov

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Krasny pr. 54, Novosibirsk, 630091, Russia, candidate of Technical Sciences, senior researcher, phone: 89538784334, e-mail: karpov@misd.ru

It is shown that the scale of land disturbance during subsurface use increases, which leads to an increase in the negative impact on the environment and the threat of complete loss of land value. The issues of recultivation of disturbed lands in Russia and abroad are considered. It is noted that the legislation provides for the technical and biological stages of their restoration. It is proposed to additionally take into account the recreational and construction stage of recultivation, the purpose of which is to reuse the areas of quarries, dumps and landfills for industrial and civil construction, the creation of recreational zones, artificial reservoirs. For the simulation of remediation works, it is possible to use standard software tools that allow you to visualize and study the objects of restoration. The currently widely implemented concept of large-scale digitalization of deposits allows us to propose and evaluate measures to reduce the environmental harm of users of subsurface resources and land through the introduction of the principles of the "green economy".

Keywords: reclamation, disturbed land, environmental safety, digitalization, modeling, "green economy"

Введение

Опыт рекультивации нарушенных земель за рубежом

Вопросы о рекультивации земель нарушенных горнодобывающими предприятиями территорий ставились еще 100–150 лет назад, сначала в государствах Европы, Америки, а затем и в Советском Союзе. После второй мировой войны проблема охватила многие страны и превратилась в целое научно-техническое направление. Первые работы по рекультивации земель в США были проведены в 1926 году на участках, нарушенных горными работами (штат Индиана). Широкое развитие в Европе и США рекультивация получила в предвоенные годы и главным образом после второй мировой войны. В настоящее время успешная работа по рекультивации бурогоугольных и каменноугольных разработок проводится в Германии, Польше, Англии, США и других странах [1]. Активно ведутся работы и в других горнодобывающих отраслях.

Рекультивация нарушенных земель в России

В России в 1912 г. на территории нынешней Владимирской области на участках заброшенных торфоразработок были поставлены опыты по их окультуриванию и выращиванию сельскохозяйственных растений. Рекультивацию земель в Советском Союзе начали проводить на отработанных месторождениях в угольной промышленности (Донбасс) с 1956 года, железорудной и горно-химической – с 1958 г., в цветной металлургии и промышленности строительных материалов – в 60-е годы. Законодательно рекультивацию земель, нарушенных открытыми горными работами, начали регламентировать с начала 70-х годов с утверждением «Основ земельного законодательства СССР и союзных республик» и ряда ведомственных постановлений. В настоящее время по проведению рекультивации имеется много различных документов, инструкций и руководств [1].

Текущие масштабы нарушения земель достигли таких размеров, что их рекультивация стала составной частью комплекса мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию земельных ресурсов, включая расширение их продуктивного использования.

В современных реалиях происходит ухудшение состояния земельных ресурсов и снижается плодородие почв, что может привести к экологическим последствиям, включая катастрофические. При открытой разработке месторождений полезных ископаемых происходит максимальное по сравнению с другими отраслями нарушение территории. Это способствует потере ценности земли и отрицательному влиянию на окружающую природную среду.

Степень и интенсивность антропогенного воздействия на экосистемы, прежде всего, сказывается на растительном покрове, который претерпевает наиболее зримые прямые и косвенные изменения. Горные разработки уничтожают целые лесные, луговые и болотные массивы, соответствующие биологические сообщества, популяции различных видов растений и животных, в том числе редких и подлежащих охране. Если растительность сразу не уничтожается, в ней происходят антропогенные смены, также ведущие постепенно к деградации естественного растительного покрова.

Экологические исследования промышленных районов показали, что на отработанных месторождениях часто проводится только горнотехническая рекультивация, т.е. планировка площадей, или «противоэрозионная» отсыпка отвалов более грубообломочным материалом для предотвращения их размыва паводковыми водами [1].

Для получения экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства необходимо использовать принцип экологической рационализации, включающий разработку и практическое использование специальных систем, технологий и способов.

Для более точного понимания приведем связь понятий земли, нарушений и рекультивации земли (рис. 1), представленных в [2].



Рис. 1. Взаимосвязь понятий земля, нарушение и рекультивация земли, нарушенные и рекультивированные земли [2]

Обобщая изложенное сформулируем цель исследования – изучить эффективность применения цифрового моделирования при проектировании и планировании рекультивации нарушенных земель для последующего использования при обосновании параметров технологий, ориентированных на восстановление свойств компонентов нарушенной человеком в процессе природопользования окружающей среды и позволяющих улучшить её экологическое состояние.,

Методы и материалы, предмет и объект исследования

Методы исследования: системный анализ научно-технической литературы, законодательных, нормативных и фондовых информационных источников по изучаемой проблеме. Синтез разработанных актуальных подходов и методов сравнительного и структурного изучения объектов. Выборочное исследование объектов, учитывающее реальные условия природо- и недропользования. Обобщение опыта использования современных технологических комплексов и организационных мер по восстановлению нарушенных земель.

Объектом исследования являются нарушенные горными работами земли. При открытой разработке месторождений полезных ископаемых рекультивации подлежат: карьерные выемки; воронки провалов поверхности; терриконы; отвалы и другие отвальные комплексы; земли, нарушенные при строительных работах и в результате загрязнения их жидкими и газообразными отходами; территории полигонов твердых отходов.

Результаты

В настоящее время восстановление нарушенных земель осуществляют последовательно, поэтапно согласно нормативных требований [3-4].

Техническая рекультивация – предварительная подготовка нарушенных территорий для различных видов использования. В состав работ входят: планировка поверхности, снятие, транспортировка и нанесение плодородных почв на рекультивируемые земли, формирование откосов выемок, подготовка участков для освоения и т.п. На данном этапе рекультивации засыпают карьерные, строительные и другие выемки, в глубоких карьерах устраивают водоемы, полностью или частично разбирают терриконы, отвалы, закладывают “пустыми” породами выработанные подземные пространства. После завершения процесса осадки поверхность земли выравнивают.

Биологическая рекультивация проводится после технической для создания растительного покрова на подготовленных участках. С ее помощью восстанавливают продуктивность нарушенных земель, формируют зеленый ландшафт, создают условия для обитания животных, растений, микроорганизмов, укрепляют насыпные грунты, предохраняя их от водной и ветровой эрозии, создают сенокосно-пастбищные угодья и т.д. Работы по биологической рекультивации ведут на основе знания развития сукцессионных процессов, основанных на последовательной закономерной смене одного биологического сообщества, например, фитоценоза, другим на определенном участке среды во времени в результате влияния природных факторов (в том числе внутренних сил) или воздействия человека.

Авторы предлагают этап рекреационно–строительной рекультивации нарушенных земель, заключающийся в использовании площадей карьеров, отвалов и терриконов для промышленного и гражданского строительства, для создания рекреационных зон, искусственных рыбоводческих водоемов (рис. 2).

В состав основных работ при проведении технического этапа рекультивации нарушенных земель входят [5], первоначальная и чистовая планировка поверхности; очистка поверхности от крупногабаритных обломков, мусора, производственных конструкций и бытовых отходов, строительного мусора с последующей их переработкой или складированием; уборка всей техники и устройств на отработанной местности; строительство подъездных маршрутов к рекультивируемым участкам, устройство въездов и дорог на них с учетом прохода спецтехники; укрепление откосов, ликвидация насыпей; создание и улучшение структуры рекультивационного слоя; осушение/орошение токсичных пород и загрязненных почв, если невозможна их засыпка слоем потенциально плодородных земель; создание при необходимости экранирующего слоя; покрытие поверхности потенциально плодородными слоями почвы; противоэрозионная организация местности. Основные работы биологического способа рекультивации включают отбор проб для химического анализа; составление технологической карты рекультивации; обработку рекультивируемой территории биопрепаратами в соответствии с технологической картой; обработку растений биопрепаратами; фенологические наблюдения и почвенные анализы; оценку эффективности обработки; отбор проб растений для анализа рисков выноса вредных веществ и тяжелых металлов в окружающую среду.



Рис. 2. Этапы рекультивации с перечнем необходимых мероприятий

При благоприятных условиях процесс рекультивации нарушенных земель осуществляют не по всем этапам, а выбирают какое-либо одно преимущественное направление: водохозяйственное, рекреационное и др. В таблице рассмотрены направления рекультивации и возможный вид использования рекультивационных земель.

Использование рекультивированных земель в зависимости
от направления рекультивации

Направление рекультивации	Вид использования рекультивированных земель	Этапы рекультивации
Лесохозяйственное	Лесопитомники, лесонасаждения общего хозяйственного и полезащитного направления	Рекультивация земель состоит из двух этапов: ✓ Технический; ✓ Биологический
Сельскохозяйственное	Сенокосы, пастбища, многолетние насаждения, пашни, садовые и огородные участки	
Водохозяйственное	Водоемы различного назначения, включающие рыбоводческие	Рекультивация земель состоит из технического этапа.
Рекреационное	Водоемы для оздоровительных целей, зоны отдыха, туристические базы и спортивные сооружения	
Санитарно-гигиеническое	Насаждение газоустойчивых растений, участки законсервированные или закрепленные техническими средствами	
Строительное	Здания, сооружения и другие объекты промышленно-гражданского или иного назначения. Размещение отвалов производства, полигонов хранения мусора.	

Этапы лесохозяйственного и сельскохозяйственного направлений рекультивации будут включать следующие виды работ: планировка, формирование откосов, захоронение токсичных вскрышных пород (технический); снятие и нанесение плодородного слоя почвы на подготовленную поверхность в результате выполнения технического этапа, внесение органического и минерального удобрений, агротехнические и фитомелиоративные мероприятия (биологический).

Этапы водохозяйственного, рекреационного, санитарно-гигиенического, строительного направлений рекультивации будут включать следующие виды работ: приведение земель в состояние, пригодное для строительства; приведение

нарушенных земель в состояние, пригодное для использования в природоохран-ных целях; биологическая и техническая консервация нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых экономически не эффективна; создание в понижениях техногенного рельефа рыбоводческих или иных водоемов.

Рекультивации могут подлежать выемки карьеров, торфоразработки, породные отвалы шахт и карьеров, площадки буровых скважин и т.п. Рекультивация в условиях постоянно увеличивающейся площади нарушенных земель приобретает большое социально-экономическое и экологическое значение, позволяет вернуть нарушенные земли в состав сельскохозяйственных угодий, использовать их под леса, водоемы, зоны отдыха, жилищное и промышленное строительство.

Инструментами моделирования могут выступать различные программные средства. В их числе могут быть [6]: Agisoft PhotoScan; PHOTOMOD; Bentley MicroStation; Micromine; AutoCAD; UnrealEngine4. Их использование позволяет проектировать наглядные модели поведения среды в процессе рекультивации. И пусть на сегодняшний момент не существует метода точного прогнозирования протекания этого процесса, модели, построенные на оценках экспертов, помогают лучше предположить, как будет меняться внешний вид территории бывших объектов горнодобывающей промышленности в динамике. Развитие работ в этом направлении, возможно, позволит создать программные решения, позволяющее делать максимально точные прогнозы процесса рекультивации без использования предположений экспертов, которые, в свою очередь, бывают недостоверны или ошибочны.

Для выявления важности и необходимости использования средств компьютерной графики при опережающем планировании рекультивационных работ по восстановлению земной поверхности от деятельности карьеров предлагают применить 3D моделирование и визуализацию относительно отработанных площадей разреза [7]. Планирование рекультивационных работ и выбор способа снижения ущерба от нарушения территорий в значительной степени зависит от условий физико-химического состава субстрата и возможности его утилизации, способности его к самозаращению и от направления рекультивации.

В [7] предлагается функциональная модель, позволяющая управлять действиями восстановления земель, нарушенных горными работами, основанная на информационно-аналитическом анализе. В алгоритме, описывающем рассматриваемый процесс, учитывается основанное на комплексной оценке определенных условий экспозиции естественное зарастание терриконов от крутизны склона, плодородия почв, накопления снега, давности отсыпки.

Применение 3D моделирования и визуализации на стадии проектирования всех этапов рекультивации позволяет наглядно решить вопросы о правильности выбора способов и методов рекультивации; с высокой точностью определить объемы и формы нарушений земной поверхности; рассчитать требуемые объемы планируемых работ на техническом этапе рекультивации; на биологическом этапе в искусственно сжатые сроки наглядно увидеть и экономически обосновать результаты всех последовательных этапов принятия решений от момента обследования территории до окончания работ, которые в реальном времени занимают много лет [8].

Обсуждение

Создание «умных месторождений» позволяет вести непрерывную оптимизацию и управление основными и вспомогательными процессами разработки. Принципом функционирования «умных месторождений» является объединение технологий измерения, контроля и управления в реальном времени, формирования и обработки непрерывного информационного потока, позволяющего оперативно реагировать потенциально на любую на ситуацию с принятием оптимальных решений.

Цифровизация месторождения с созданием 3D моделей необходима для более объективного представления о состоянии массива и его изменении во времени. Работа с моделями объектов осуществляется средствами геоинформационных систем, реализующих инструменты хранения и обработки пространственно-распределенной информации, ее визуализации в удобном для анализа виде [10]. Полномасштабная цифровизация горнодобывающего предприятия способна обеспечить синергетический эффект не столько за счет минимального повышения эффективности отдельных элементов горнотехнической системы, сколько за счет обеспечения оптимизированной взаимосвязи между ними [10].

Переход к принципам «зеленой» экономики необходимо рассматривать как модернизацию горнодобывающей отрасли в рамках создания и реализации концепций «умных месторождений» [11-12]. При этом существуют сложности перехода, и здесь сдерживающим фактором будет являться инерционность процессов развития. С одной стороны, необходима государственная поддержка предприятий, перестраивающих технологический процесс с целью обеспечения долговременного социально-экономического развития на основе снижения антропогенной нагрузки на природные среды, с другой необходима координация на региональном уровне усилий государственных органов власти и горнорудных компаний с целью разработки новых концептуальных подходов к совершенствованию механизма управления «зеленой» экономикой.

В рамках вышеуказанных принципов горнодобывающим компаниям необходимо внедрять экологически ориентированные технологии. Факт существования «зеленой» экономики благоприятен для природной среды и населения горнодобывающих регионов России. Для дальнейшего развития положительного эффекта от внедрения «зеленой» экономики необходима диверсификация добывающих регионов, их переход к экономике знаний. В свете мировых природоохранных тенденций суть модернизации экономики все больше определяется как обеспечение технологического процесса для долговременного социально-экономического развития на основе снижения экологических рисков и поддержания благоприятной окружающей среды [13-19].

Заключение

Рост масштабов недропользования ведёт к усилению его отрицательного влияния на окружающую среду и угрозам частичной или полной потери ценности нарушенных земель. Высокие и постоянно возрастающие затраты на

проведение работ по рекультивации в условиях ужесточения «зелёных» требований со стороны общества предполагают объективную необходимость поиска различных резервов их снижения и оптимизации.

Учёт дополнительного рекреационно-строительного этапа рекультивации нарушенных земель позволяет более объективно дифференцировать их значимость с точки зрения последующего направления возврата и использования в хозяйственном обороте.

Моделирование процессов рекультивации нарушенных горным производством земель в рамках концепции «умное (цифровое)» месторождение способствует более точному прогнозированию характера влияния пользователей недр на окружающую среду и условий уменьшения экологического вреда от их деятельности.

Сегодня уже нельзя ограничиваться только восстановлением нарушенного массива (рельефа), плодородия земель, созданием растительного покрова, а важно восстанавливать и другие компоненты геосреды, например, подземную и наземную гидросферу, биологическое разнообразие, эндогенные и экзогенные геологические процессы, воздействующие на геологическую среду на данной территории. Необходима комплексная рекультивация, а точнее рекультивация природной среды и настоящий уровень научно-технического прогресса позволяет эффективно восстанавливать нарушенные земли и возвращать их в сельскохозяйственное и др. использование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шинкин Р.С. К вопросу об истории развития рекультивации // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2014. – С. 132-140.

2. Власова Е.Я., Гавриловская М. А., Бардук К.Н. Трансграничное природопользование: пространственный и экосистемный подходы к исследованию (на примере ПХК Свердловской области) // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2006. – №3(15). С.161-169.

3. О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» и Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы. [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 10 июля 2018 г. N 800. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Саакян Ю.З., Григорьев А.В., Васенькина Е.Ю., Кравец Е.А., Фадеев А.М. Направление совершенствования экологического законодательства Российской Федерации в угольной отрасли на основе анализа опыта ведущих угледобывающих стран // Уголь. 2020. №11. С.58-63.

5. Сонин П. В., Садырин В. А. Моделирование процесса рекультивации объектов горнодобывающей промышленности // Россия молодая: Сборник материалов XII Всерос. научно-практической конференции с международным участием, 21-24 апр. 2020 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: С. Г. Костюк (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2020. – С.21190.1–21190.4.

6. Аксенова О. Ю., Овсянникова Е. А., Пачкина А. А. Использование средств трехмерной графики при планировании рекультивационных работ // Кибернетика и программирование. – 2017. – №5, С.54-63.
7. Аняннова Е.В., Воронов М.П., Кох Е.В. Системный анализ и компьютерное моделирование процесса восстановления земель при угледобыче // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Том 9, №6. – С. 1–9.
8. Руководство по проектированию бортов карьера, под редакцией: Джон Рид, Питер Стейси. Пер.с англ. – Екатеринбург: Правовед, 2015. – 544с.
9. Лютягин Д. В., Яшин В. П., Забайкин Ю. В., Якунин М. А. Особенности и тенденции цифровой трансформации российской горнодобывающей отрасли // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – Том 9, № 7А. – С. 147-159.
10. Рыльников А. Г. Пыталев И. А. Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: технические решения и технологические вызовы // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2020. – вып.1. – С. 470-481.
11. Самарина В.П., Скуфьина Т.П. «Зеленая экономика» горнодобывающих регионов России: факты и тенденции //ГИАБ (Специальный выпуск). – 2015. –С.267-272.
12. Шпинев Ю.С. Правовые основы «зеленой» экономики // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 23 (декабрь). С. 1322-1331. DOI: 10.18411/1311-1972-2020-00018
13. Наумов И.В., Савченков С.С. Моделирование пространственных особенностей развития процессов нарушения и рекультивации земель // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. – 2019. – Том 18, № 6. – С. 802–825.
14. Transforming Mining Pits into a Lake District // <https://www.mikepoweredbydhi.com/global/references/emea/overview/transforming-mining-pits-into-a-lake-district>
15. Янин Е.П. Особенности воздействия на окружающую среду разработки урановых месторождений // М.: ВИНТИ. Выпуск №2, 2019. С. 1537.
16. Янин Е.П. Оценка воздействия разработки месторождений нефти и газа на окружающую среду // М.: ВИНТИ. Выпуск №3, 2019. С. 33110.
17. Янин Е.П. Оценка влияния на окружающую среду разработки коренных месторождений алмазов // М.: ВИНТИ. Выпуск №4, 2019. С. 6 23.
18. Янин Е.П. Оценка воздействия разработки российских железорудных месторождений на окружающую среду. Обзор // М.: ВИНТИ. Выпуск №5, 2019. С. 22 84.
19. Янин Е.П. Особенности воздействия на окружающую среду разработки угольных месторождений // М.: ВИНТИ. Выпуск №6, 2019. С. 12 53.

© Н. А. Немова, А. В. Резник, В. Н. Карпов, 2021