

Проектирование структуры базы данных информационного ресурса состояния природной среды в зоне влияния горнорудных предприятий

А.А. Петров, С.П. Месяц 

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

 s.mesyats@ksc.ru

Резюме: Глобальный характер негативных антропогенных изменений биосферы заставляет обращать пристальное внимание на состояние почвенной оболочки Земли, выполняющей важнейшие экологические функции: сохранение биоразнообразия, поддержание современного климата Земли и существующего режима функционирования всех геосфер – атмосферы, гидросферы, литосферы.

Деградация почв является одним из самых серьезных последствий воздействия человека на природную среду при освоении георесурсов, поэтому особенно актуальной проблемой является восстановление нарушенных земель. На основании анализа данных многолетнего мониторинга восстановления нарушенных земель в разных климатических зонах, на различных объектах обоснована методология и разработана технология восстановления природных экосистем. Методологический подход к решению этой задачи заключается в использовании регенерационных возможностей природной среды на основе изучения самоорганизуемой природы почв и потенциала самовосстановления каждой конкретной природной экосистемы.

Опыт и знания в области восстановления природных экосистем должны быть formalизованы и представлены в виде информационного ресурса, доступного для пользования специалистами при выработке организационных решений по оптимизации экологического состояния природной среды региона. В статье выделены несколько областей знаний, которые предполагается использовать в информационном ресурсе.

Использование информационного ресурса позволяет решать задачи контроля изменений компонентов природной среды, накопления и анализа материалов по изучаемой территории, оценки состояния нарушенных земель, прогноза негативных процессов и определять приоритеты как в общих направлениях, так и в конкретных мероприятиях по восстановлению природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов.

Ключевые слова: горнорудный комплекс, природная среда, восстановление природных экосистем, информационный ресурс, геоизображения, хранимая информация

Для цитирования: Петров А.А., Месяц С.П. Проектирование структуры базы данных информационного ресурса состояния природной среды в зоне влияния горнорудных предприятий. *Горная промышленность*. 2025;(6):150–156. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-150-156>

Designing the database structure for an information resource on the state of the natural environment in areas affected by mining operations

А.А. Петров, С.П. Месяц 

Минеральный институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Российская Федерация

 s.mesyats@ksc.ru

Abstract: The global nature of negative human-induced changes in the biosphere forces us to pay more and more attention to the state of the Earth's soil envelope, which is the intersection of all energy and mass transfer flows on the Earth and which performs the most important ecological functions, i.e. preserving biodiversity, maintaining the modern climate of the Earth and the existing functioning mode of all the geospheres: the atmosphere, hydrosphere, and lithosphere.

Soil degradation is one of the most serious consequences of the human impact on the natural environment when developing georesources. The Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences has been dealing with the

problem of restoring disturbed lands for more than 40 years. A methodology has been justified and a technology for restoring natural ecosystems has been developed based on analysing data from multi-year monitoring of the disturbed land restoration in different climate zones and at various sites. The methodological approach to solving this problem is to use the regeneration capacity of the natural environment based on studying the self-organizing nature of soils and the potential for self-regeneration of each specific natural ecosystem.

Knowledge and experience in restoration of natural ecosystems should be formalized and presented in the form of an information resource available for the specialists when developing organizational solutions to optimize the ecological state of the natural environment in the region. The article highlights several areas of knowledge that are expected to be used in the information resource.

Application of the information resource makes it possible to handle the tasks of monitoring changes in the components of the natural environment, accumulating and analyzing materials on the studied territory, assessing the state of the disturbed lands, predicting negative processes, and prioritizing both general directions and specific measures to restore natural ecosystems disrupted by the development of georesources.

Keywords: mining complex, natural environment, restoration of natural ecosystems, information resource, georepresentations, stored information

For citation: Petrov A.A., Mesyats S.P. Designing the database structure for an information resource on the state of the natural environment in areas affected by mining operations. *Russian Mining Industry*. 2025;(6):150–156. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-150-156>

Введение

Нарушения экологического равновесия в природной среде, сопровождающие добычу, обогащение, перевозку полезных ископаемых, являются источником экологических проблем многих регионов РФ. В районах добычи и переработки полезных ископаемых увеличиваются площади нарушенных земель, происходит загрязнение отходами переработки добываемого сырья почв, водного и воздушного бассейнов.

Расширение производства в горнодобывающей промышленности происходит зачастую экстенсивным способом. Исчерпание запасов богатых полезным компонентом руд приводит к необходимости обогащения бедных руд и сопровождается ростом количества отходов. Расширение и углубление карьеров и шахт приводит к росту объемов отвалов вскрышных пород. Особую тревогу вызывает факт отсутствия экономической заинтересованности предприятий в использовании перемещенных горных масс (находящихся в виде отвалов и хвостохранилищ) в промышленном производстве или в восстановлении их почвенно-растительного покрова, что оказывает негативное воздействие на существование прилегающих экосистем.

Одними из самых серьезных последствий воздействия предприятий добывающей промышленности на природную среду являются уничтожение почвенно-растительного покрова и деградация почв. Изменение химического состава, уменьшение плодородия почв на импактных территориях приводит к снижению продуктивности первичных консументов, основы ее трофических цепей и, следовательно, разрушению экосистем в целом.

Горный институт Кольского научного центра РАН занимается проблемой восстановления нарушенных земель уже более 40 лет.

Анализ практики восстановления нарушенных земель позволяет сделать вывод, что наиболее перспективный путь состоит в разработке решений по содействию регенерационным возможностям природной среды на основе изучения самоорганизуемой природы почв и потенциала самовосстановления каждой конкретной природной системы.

На основании анализа данных многолетнего мониторинга восстановления нарушенных земель в разных климатических зонах, на различных объектах в Горном институте КНЦ РАН обоснована методология и разработана технология восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в соответствии с принципом их самоорганизации, созданием биологически активной среды. Образование биологически активной среды в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя – суть экоинвестиционного подхода, заключающегося в увеличении энергетического потенциала системообразующей функции биоты для повышения скорости восстановления природных экосистем [1].

Концептуальный подход

Оптимизация экологического состояния территорий основана на комплексном учете разных факторов, которые можно условно разделить по областям знаний на социально-экономические, технические, природные. Информированность в этих областях знаний является основой принятия управленческих решений.

Информационным базисом принятия решений по восстановлению природных экосистем являются географо-климатические и социально-экономические условия территории, санитарно-гигиенические показатели окружающей среды, динамика параметров восстановления нарушенных земель, технико-экономические параметры применяемых технологий восстановления, федеральные и региональные нормативные акты, показатели имеющегося накопленного опыта восстановления природных экосистем и т. д.

Достоверная оценка значимости перечисленных взаимосвязанных факторов возможна, но в ограниченной предметной области и только с помощью экспертов-специалистов. Системный учет хотя бы ведущих факторов приводит к необходимости увеличения числа экспертов, привлекаемых к решению поставленной задачи. Такое положение дел делает процедуру принятия решений при управлении природно-техногенными комплексами экономически и организационно неэффективной. Особенно это характерно при принятии решений по текущим, ежедневно возникающим

задачам на уровне предприятия, промышленного района, региона.

Необходимым условием реализации мероприятий по восстановлению природных экосистем является их обеспеченность информационными ресурсами наряду с обеспеченностью ресурсами сырьевыми, материально-техническими, финансовыми, технологическими и другими.

Современной формой интеграции знаний специалистов в области экологии, опыта организационных решений в области землепользования и недропользования, опыта применения и особенностей использования технологий восстановления природных экосистем, социально-экономических и природно-географических условий природопользования – является информационный ресурс, отражающий состояние природной среды в зоне влияния горнорудных предприятий.

Особенностью информационного ресурса является его многогранность и значительный объем, что связано с многофакторностью и многопараметричностью описания природных экосистем, включающего геоэкологические, геохимические, геотехнические и социально-экономические параметры.

Информационный ресурс состояния природной среды в зоне влияния горнорудных предприятий Мурманской области включает следующие группы параметров:

- параметры физико-географического положения объектов исследования (географическое положение: широта, долгота, высота над уровнем моря, принадлежность к вертикальным и широтным природным зонам);
- экологические параметры, характеризующие нарушенные земли в целом как экосистемы (продуктивность, запасы биомассы, структура трофических цепей, биохимическая активность и т.д.);
- геохимические и геотехнические параметры (минеральный, химический, гранулометрический состав, объемы складированных горных пород, инженерно-технические параметры, параметры технологий восстановления нарушенных земель и т. д.);
- социально-экономические параметры (финансовые затраты, законодательные и нормативные акты, санитарно-гигиенические условия проживания в зоне воздействия исследуемых объектов, международные акты и соглашения

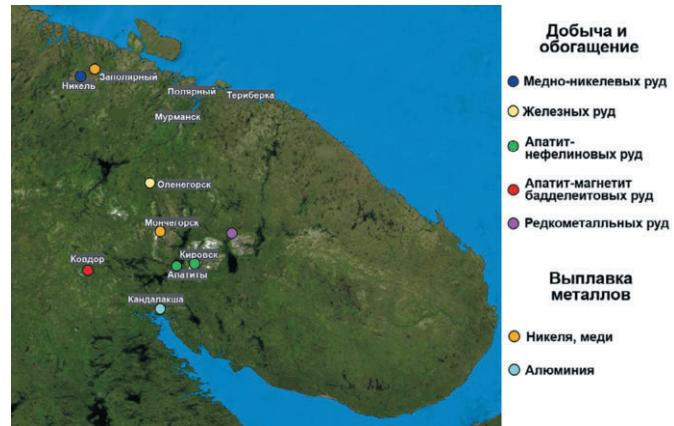


Рис. 1

Горнорудные районы на территории Мурманской области

Fig. 1

Mining areas in the Murmansk Region

в области охраны и восстановления природных экосистем.

Объектом исследования определена территория западной, наиболее освоенной части российского сектора Арктики (Кольский полуостров, Мурманская область). Большая часть территории (144,9 тыс. км²) находится севернее Полярного круга в Атлантико-Арктическом районе умеренного климата, отрицательных среднегодовых температур и избыточного увлажнения воздуха. Расположение предприятий Кольского горнорудного комплекса приведено на рис. 1. По территориальной близости можно условно выделить три горнорудных района: северо-западный, центральный, юго-западный [2].

Для территории Кольского ГПК, вытянутой в меридиональном направлении, характерно различное сочетание уровней биоклиматического потенциала, геохимического потенциала самоочищения и биогенности почв.

Несмотря на явные различия в условиях деятельности предприятий и их воздействия на природную среду методологическим основанием создаваемого информационного ресурса является территориальная принадлежность рассматриваемых предприятий к Кольскому ГПК, что обеспечивает единое экономическое и законодательное про-

Таблица 1
Соответствие видов входной и хранимой информации

Table 1
Correspondence between the types of input and stored information

Виды входных данных	Наименование	Гипотеза
Семантическая информация: тексты законов и нормативных актов; литературные источники; технические регламенты; блок-схемы, семантические сети	Сканирование текстов Распознавание образов Ручной ввод	Гипертекстовые документы Внутреннее представление данных программ обработки знаний
Количественные данные: данные мониторинга; опубликованные данные наблюдений; экономические параметры	Ручной ввод	Данные БД Данные гипертекстовых документов Внутреннее представление атрибутивных данных в ГИС
Геоизображения: карографические материалы; фотоснимки сканерные; изображения	Ручной ввод дигитайзером Сканирование и ручное редактирование Цифровая фотография Снимки и сканы с космических аппаратов	Растровый формат Внутреннее представление в растровом, векторном, точечном форматах в ГИС
Адреса источников данных в локальной сети и в Интернет	Ручной ввод Автоматизированный поиск и индексация ресурсов сети	Гипертекстовые ссылки в HTML-страницах Данные в БД (встроенный тип данных)

странство их деятельности и близкие природно-климатические условия прилегающих биогеоценозов.

Правильный выбор средств и методов создания информационного ресурса связан с оценкой времени существования объекта изучения и объема хранимой информации.

В табл. 1 приведены сведения о соответствии видов входной информации, хранимых данных, основных процессах ввода данных создаваемого информационного ресурса.

Из табл. 1 видно, что создаваемый информационный ресурс включает разнородную информацию (числовые данные, пространственно-индексированные числовые данные, текстовые данные, геоизображения), и, следовательно, ресурс должен быть основан на состоящей из нескольких программных модулей информационной интегрированной системе, поддерживающей ввод, обработку, хранение и отображение данных разного типа. Ввиду сложности изучаемого объекта интеграция неоднородных данных должна осуществляться в открытой системе, позволяющей включать в нее произвольные данные на основе должным образом выбранной стандартной системы интерфейсов.

Обсуждение результатов

Информационный ресурс – открытая система, доступная для пополнения хранимых данных и для включения в нее баз данных новых предметных областей. Основным принципом, определяющим выбор того или иного подхода организации хранения данных в базах данных, служит представление о методах использования данных. По этому признаку были выделены две группы данных:

- текстовые данные и геоизображения;
- числовые данные и пространственно-индексированные числовые данные.

Основным методом анализа информации, содержащейся в текстовых данных и геоизображениях, является метод визуального анализа. Вероятные запросы поиска данных к базам этой группы не являются сложными, поскольку содержат небольшое число (обычно от 1 до 5) ключевых имен, но частота запросов может быть большой при использовании информационного ресурса в многопользовательском режиме. Исходя из характера пользования требованиями к организации хранения этой группы данных являются целостность данных и высокая скорость обработки и выполнения простых запросов. Данное требование отвечает реляционная модель данных.

Расчет производных показателей по исходным числовым данным при выполнении аналитических запросов требует несравненно большей производительности от баз данных, чем при выполнении простых поисковых запросов. Задачи поиска закономерностей в хранимых данных, проведения статистической обработки данных, выбора математической модели, адекватной имеющимся данным, характеризуются высокой сложностью запросов и интенсивным использованием баз данных, предъявляют высокие требования к программному и аппаратному обеспечению информационного ресурса. Выполняемая в рамках этих задач обработка данных при использовании стандартных аппаратных и программных средств может занять временные интервалы от минут до нескольких часов (например, построение карт с высоким разрешением по данным точечных наблюдений). Поэтому основными требованиями к организации хранения числовых данных являются простота и понятность структуры данных. Этому требованию отвечает модель хранилища данных, ориентированная на выполнение сложных запросов к БД.

Текстовая информация, вводимая и обрабатываемая в информационной системе, разнородна по своему происхождению, смысловому содержанию, объему. Можно выделить три типа текстовой информации, связанных с состоянием исследуемых объектов природной среды:

- законодательные и нормативные акты. Этот вид текстовой информации характеризуется относительно большим объемом, плохой структурированностью (отсутствием взаимосвязи между частями текста) и невозможностью смысловой свертки тестов;

- стандарты, нормативы, регламенты, описания технологических процессов, связанных с восстановлением природных экосистем. Этот вид текстовой информации может быть представлен в формализованном виде как таблицы, что приводит к уменьшению избыточности его объема;

- ссылки на литературные и сетевые источники. Этот вид текстовой информации также может быть представлен в формализованном компактном виде;

- выраженные в текстовом виде описания объектов, правила, закономерности различных процессов восстановления природных экосистем. Этот вид информации может быть формализован с использованием разных способов представления знаний (продукционные системы, семантические сети, фреймы).

Трудно предугадать, каким образом будут использованы хранимые данные в будущих исследованиях, поэтому структура данных должна быть максимально простой и понятной пользователям, что позволит конструировать различные объектные модели исследуемых процессов на ее основе. Наилучшим образом этим требованиям отвечают схемы данных, используемые при создании хранилищ данных, получившие названия размерной модели данных («снежинка» или «звезда») [3]. Отличием структуры данных для этих схем является выделение из общего объема данных в единую таблицу собственно анализируемых данных (или фактов) и создание нескольких связанных с основной таблицей, содержащих вспомогательные данные (называемых измерениями или размерностями).

По этой схеме были спроектированы следующие БД:

- данные мониторинга нарушенных земель и ресурсного потенциала их самовосстановления, полученные в полевых условиях и по литературным источникам;

- лимитирующие факторы самовосстановления нарушенных земель Кольского ГПК;

- данные мониторинга восстанавливаемых земель Кольского ГПК, полученные в полевых условиях и по литературным данным;

- данные о влиянии предприятий Кольского ГПК на состояние природной среды;

- технико-экономические параметры технологий восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов.

Мониторинг динамики восстановления природных экосистем включает 4 группы параметров: физико-механические, физико-химические и химические, биохимические, физико-географические. Физико-механические параметры определяют структуру внутреннего пространства формируемых почв и минеральных субстратов, дисперсность и удельную поверхность составляющих частиц, водоудерживающую способность. Группа физико-химических и химических параметров описывает элементный и косвенным образом вещественный состав почвенных и минеральных компонентов, их качественные и количественные изменения в процессе почвообразования. Биохимические па-

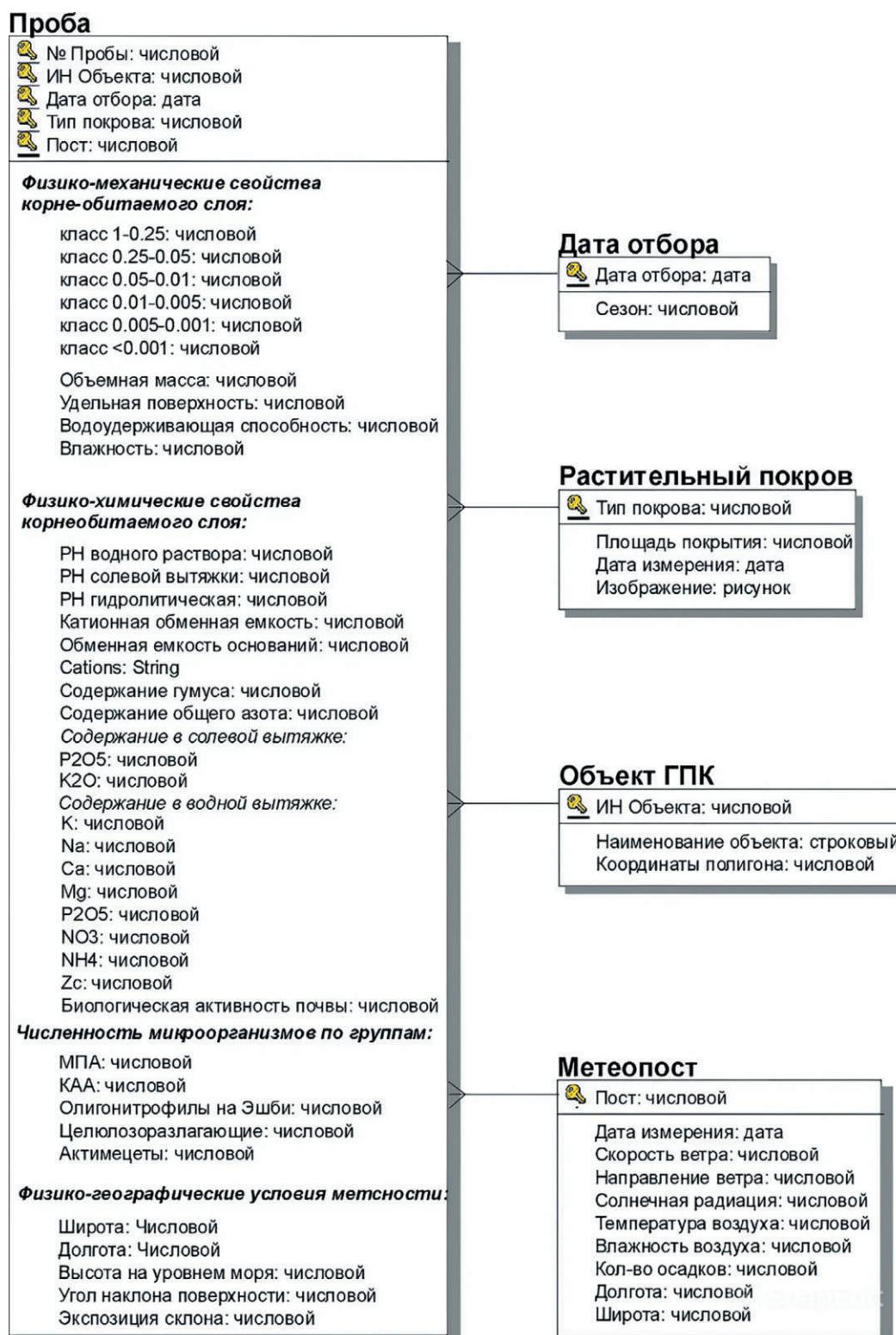


Рис. 2

Схема базы данных мониторинга динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов

Fig. 2

A schematic representation of a database for monitoring the restoration dynamics of natural ecosystems disturbed by georesource development

метры определяют биогеннуюность минерального субстрата и формирующейся почвы, их биохимическую активность. Группа физико-географических параметров в месте отбора проб введена для учета внешних условий формирующихся почв и обеспечения координатной привязки точек отбора проб.

На рис. 2 представлена схема базы данных мониторинга

динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов. Схема содержит одну большую таблицу данных (так называемая таблица факта), связанную с меньшими таблицами (так называемые таблицы размерностей), причем таблицы факта являются родительскими, что видно по мощности отношений таблиц, принимающих значение «многие» для таблицы факта.

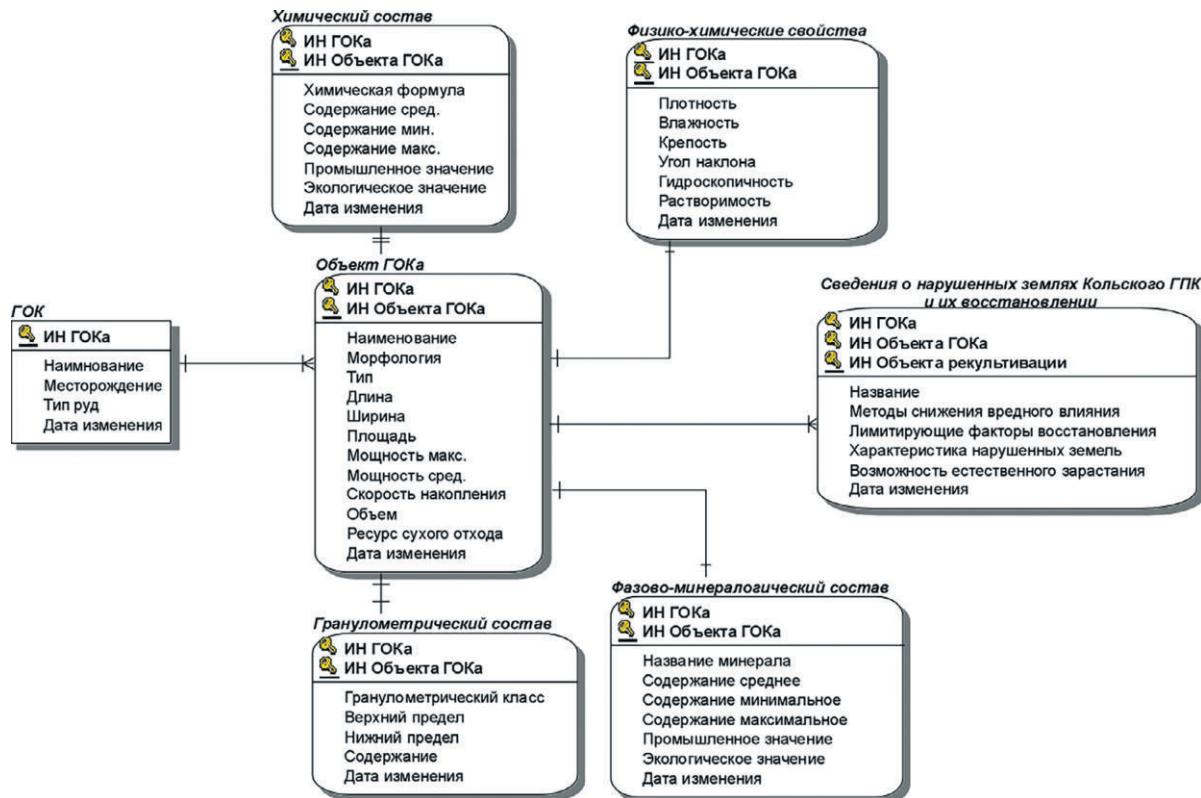


Рис. 3

Схема реляционной базы данных состояния нарушенных земель Кольского ГПК и лимитирующих факторов их самовосстановления

На рис. 3 показана схема реляционной базы данных состояния нарушенных земель Кольского ГПК и лимитирующих факторов их самовосстановления, также основанная на размерной модели. Для упрощения формирования запросов к базе данных таблица факта разбита на несколько тематических таблиц:

- гранулометрический состав;
- физико-химические свойства;
- химические свойства;
- фазово-минеральный состав.

Указанные таблицы (реляции) соединены отношениями мощностью один-к-одному, что фактически в совокупности и составляет одну таблицу факта.

Штатным средством, используемым для формирования сложных аналитических запросов к базам данных, является язык SQL [4].

Выбор СУБД для поддержки баз данных информационного ресурса производился по следующим критериям:

- невысокая требовательность СУБД к аппаратным ресурсам;
- свободный доступ;
- разнообразие поддерживаемых специальных типов данных (временные типы, геометрические типы, ссылочные типы);
- наличие клиентской части СУБД под управлением MS Windows.

Наиболее полно удовлетворяют предъявленным требованиям кроссплатформенная объектно-реляционная СУБД PostgreSQL, поддерживающая геометрические типы данных [5]. Данная СУБД специально разрабатывалась для обеспечения научных исследований, поэтому в состав PostgreSQL входят функции обработки времени, дат, геометрических

Fig. 3

A schematic representation of the relational database on the condition of disturbed lands in the Kola Mining and Metallurgical Complex and the limiting factors for their self-regeneration

типов данных. Представляемая PostgreSQL возможность объектного моделирования данных перспективна для создания баз знаний и обработки знаний средствами СУБД.

Для хранения и анализа пространственно-индексированных данных используются специализированные СУБД, соединенные со средствами графической обработки и визуализации запросов и представления результатов их выполнения, – геоинформационные системы. Физическая и логическая структура данных, хранимых в БД ГИС, определена архитектурой конкретной ГИС и для пользователя представляется в виде слоев тематических данных, организованных по пространственному признаку и представляющих собой геоизображения. Для проведения различного вида анализа пространственно-распределенных данных предпочтительно использовать соответствующее представление геоизображений – растровое, векторное или триангуляционное. Современные ГИС поддерживают перевод (экспорт) геоданных из одного представления в другое, что позволяет использовать один набор данных для комплексного анализа разными программными средствами ГИС.

Атрибутивные данные индексируются пространственно-распределенными данными так, что каждому пространственному объекту (метке, ячейке, точке, линии, полигону, узлу) может быть поставлен в соответствие набор данных об этом объекте. В этом случае становится возможным пространственный анализ распределения атрибутивных параметров геометрических объектов, реализуемый средствами ГИС [6].

Информационный ресурс предполагает хранение и обработку следующих видов геоизображений:

- тематические слои различного содержания (физико-географические, климатические, почвенные, годовых осад-

ков, биоклиматического индекса, геохимического потенциала самовосстановления и т.д.);

– мультиспектральные космоснимки высокого пространственного разрешения исследуемой территории Кольского ГПК.

Накопленный объем картографических данных является основой детального изучения состояния природной среды в зоне влияния горнорудных предприятий Мурманской области.

Экспертные данные в области восстановления природных систем представляют собой ценный информационный ресурс. Однако ключевая сложность заключается в систематизации, хранении этих знаний и интеграции их в формируемую базу данных информационного ресурса. Это связано как с меньшей развитостью процедур создания баз знаний, по сравнению с процедурами создания баз данных и ГИС, так и с тем, что изучаемая область знаний недостаточно formalизована для перевода ее в цифровой вид.

Можно выделить несколько областей знаний, которые предполагается использовать в информационном ресурсе:

– условия и правила применения технологий восстановления земель ГПК;

– правила комплексной оценки состояния нарушенных земель и выбора технологии их восстановления;

– правила использования государственной системы законодательного, нормативного и экономического регулирования природопользования применительно к нарушенным землям ГПК;

– система знаний о биологических и биохимических закономерностях восстановления экосистем на нарушенных землях в условиях Крайнего Севера.

Заключение

Таким образом, определив состав и структуру данных, на следующем этапе разработки информационного ресурса представляется рациональным поиск программных реализаций ГИС и систем представления знаний, позволяющих наряду с выполнением своих основных функций интегрировать данные через универсальные механизмы взаимодействия (ODBC, SQL, WWW).

Список литературы / References

1. Mesyats S., Gontar O. Studying the dynamics of restoration of natural ecosystems disturbed by the development of geo-resources in accordance with the principle of their self-organization. In: *Trofymchuk O., Rivza B. (eds) Proceedings of the 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 16–22 August, 2021. Bulgaria; 2021*, pp. 461–468. <https://doi.org/10.5593/sgem2021/5.1/s20.058>
2. Месяц С.П., Остапенко С.П., Аверина О.В. Методический подход к оценке влияния горнорудных предприятий на состояние растительного покрова по данным спутниковых наблюдений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(S23):545–553. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-10-23-545-553>
Mesyats S.P., Ostapenko S.P., Averina O.V. A methodical approach to estimate the impact of mining enterprises on vegetation cover based on satellite data. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(S23):545–553. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-10-23-545-553>
3. Макарычев П.П., Артамонов Д.В. Модельные представления данных на основе прямого тензорного исчисления. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2016;(3):3–15. <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2016-3-1>
Makarychev P.P., Artamonov D.V. Model-based presentations of data on the basis of direct tensor calculus. *University proceedings. Volga region. Technical sciences*. 2016;(3):3–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2016-3-1>
4. Дейт К.Дж. *Введение в системы баз данных* [пер. с англ.]. 8-е изд. М.: Изд. дом «Вильяме»; 2005. 1328 с.
5. Ferrari L., Pirozzi E. *Learn PostgreSQL*. 2nd ed. Packt Publishing; 2023. 744 p.
6. Месяц С.П., Петров А.А. Комплексный мониторинг динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, как основа информационной системы поддержки принятия решений. *Горная промышленность*. 2023;(2):106–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-106-111>
Mesyats S.P., Petrov A.A. Integrated monitoring as the basis of an information system to support decision-making on the restoration of natural ecosystems disturbed during the development of georesources. *Russian Mining Industry*. 2023;(2):106–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-106-111>

Информация об авторах

Петров Алексей Александрович – научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8283-9288>; e-mail: a.petrov@ksc.ru

Месяц Светлана Петровна – ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9929-8067>; e-mail: s.mesyats@ksc.ru

Information about the authors

Aleksey A. Petrov – Researcher, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8283-9288>; e-mail: a.petrov@ksc.ru

Svetlana P. Mesyats – Leading Researcher, Head of Laboratory, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9929-8067>; e-mail: s.mesyats@ksc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.09.2025
Поступила после рецензирования: 23.10.2025
Принята к публикации: 24.10.2025

Article info

Received: 03.09.2025
Revised: 23.10.2025
Accepted: 24.10.2025