

УДК 502.55:004.9

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА  
СОСТОЯНИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ГОРНОЙ ОТРАСЛИ И  
ДИНАМИКИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНЦИПОМ  
САМООРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ**

*Месяц Светлана Петровна,  
ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией геоэкологических,  
Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук  
e-mail: mesyats@goi.kolasc.net.ru*

*Петров Алексей Александрович, научный сотрудник,  
Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук  
e-mail: petrov@goi.kolasc.net.ru*

**Аннотация**

С целью изучения состояния нарушенных земель горной отрасли и динамики их восстановления в соответствии с принципом самоорганизации природных систем разработана система мониторинга, предусматривающая интеграцию данных наземного изучения генетических параметров и функциональных показателей формирующихся почв и данных спутниковых наблюдений, характеризующих вегетационный индекс растительного покрова, химический состав горной породы, индекс стресса влажности. Система комплексного мониторинга основывается на применении современных средств геоинформационного проектирования и ориентирована на повышение эффективности обработки, хранения, анализа и представления информации с целью поддержки принятия решений по восстановлению нарушенных земель горной отрасли.

**Ключевые слова:** нарушенные земли горной отрасли, восстановление природных экосистем, мониторинг, данные наземных и спутниковых наблюдений, геоинформационные технологии

Экологическое состояние природной среды региона определяется степенью его освоения. Для территории горнопромышленного комплекса (ГПК) наиболее существенным результатом воздействия на природную среду является нарушение главного компонента ландшафта - почвенно-растительного покрова. Масштаб деградации заставляет обращать все более пристальное внимание на состояние почвенной оболочки Земли, являющейся местом пересечения всех потоков энергомассообмена на планете и выполняющей важнейшие экологические функции:

сохранение биоразнообразия, поддержание современного климата Земли и устойчивого функционирования всех структурно составляющих биосферы – атмосферы, гидросферы, литосферы. В настоящее время преобразующая деятельность человека на поверхности Земли приобрела масштабы геологических процессов, нарушив естественную сбалансированность биосферных процессов.

Техногенные ландшафты представляют исключительный интерес для науки и практики, поскольку являются зонами современной регенерации почвенного покрова – главного компонента биосферы. Вновь образующиеся почвы – это почвы с точно фиксированным возрастом и стадией развития.

На основании изучения самоорганизующейся природы почв в Горном институте КНЦ РАН обоснована методология и разработана технология восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования, согласно которой почва является продуктом взаимодействия горной породы, биоты, климата, рельефа и времени [1]. Восстановление нарушенных земель в рамках концепции рассматривается как эволюция системы «горная порода-биота» в конкретных климатических условиях, созданием сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя, обеспечивающего формирование биологически активной среды, рисунок 1 [2].



Рис. 1. Восстановление нарушенных земель горной отрасли в соответствии с концепцией естественного почвообразования без нанесения плодородного слоя

Изучение закономерностей и динамики восстановления нарушенных земель горной отрасли в соответствии с концепцией естественного почвообразования основывается на данных мониторинга, предусматривающего комплексное и

одновременное изучение генетических параметров (минералогический, гранулометрический, химический составы, плотность, пористость, влагоемкость) и функциональных показателей (реакция среды, окислительно-восстановительный потенциал, степень насыщенности основаниями, содержание подвижных форм химических элементов) формирующихся почв [3].

Для поддержки принятия решения по восстановлению нарушенных земель горной отрасли в соответствии с принципом их самоорганизации разработана информационная система, в составе которой сформированы базы данных состояния нарушенных земель и факторов, лимитирующих их самовосстановление, способов создания биологически активной среды и данных мониторинга динамики восстановления нарушенных земель.

В структуру информационной системы интегрирован программный модуль автоматизированного выбора способов восстановления нарушенных земель горной отрасли на основе анализа содержимого баз данных состояния нарушенных земель и способов создания биологически активной среды в области их пересечения по факторам, лимитирующим процессы самовосстановления нарушенных земель. Обратные связи в соответствии с принципом самоорганизации природных экосистем обеспечиваются данными мониторинга восстанавливаемых земель с корректировкой способов создания биологически активной среды, в случае необходимости, посредством интерактивного взаимодействия с данными информационной системы, рисунок 2.

Для оптимизации алгоритма автоматизированного принятия решений по восстановлению нарушенных земель горной отрасли в структуру информационной системы интегрированы данные оценки ресурсного потенциала самовосстановления природных экосистем, полученные на основе анализа факторов техногенной нагрузки и показателей экологического состояния (биоклиматический потенциал, ландшафтно-геохимический потенциал самоочищения, биогенность почв) [4].

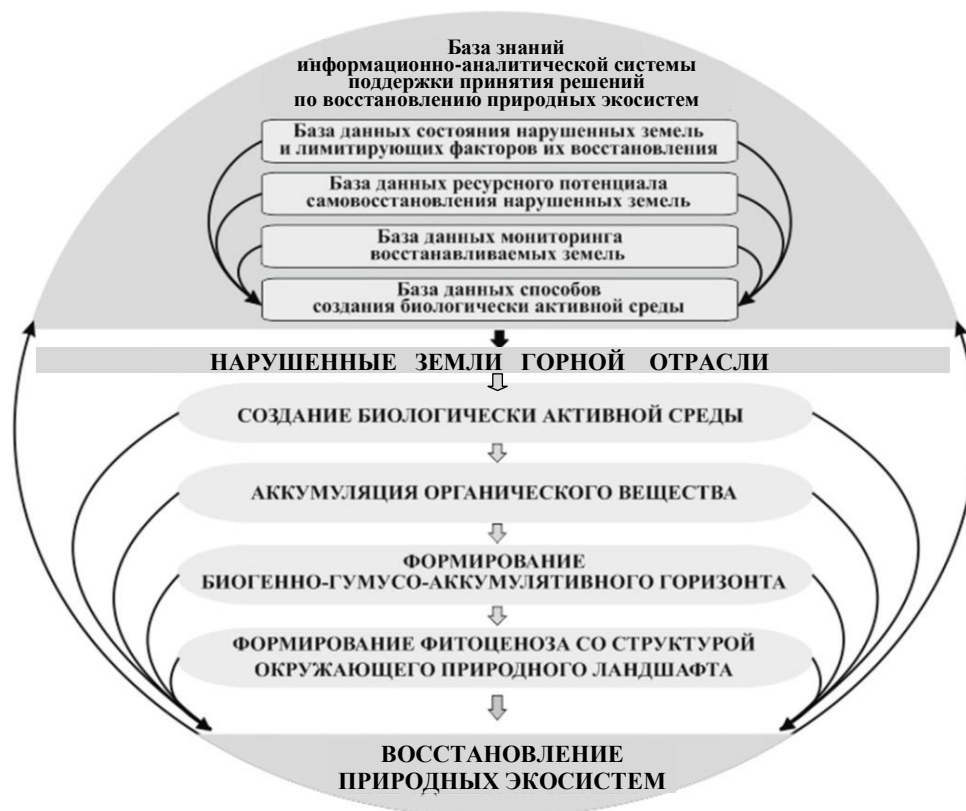


Рис. 2. Алгоритм автоматизированного принятия решений по восстановлению нарушенных земель горной отрасли в соответствии с принципом самоорганизации природных экосистем

Большие площади нарушенных земель горной отрасли и многофакторность ее воздействия на природную среду определяют актуальность поиска подходов к интегральной оценке состояния нарушенных земель и динамики их восстановления, что обосновывает целесообразность дальнейшего развития информационной системы интеграцией наземных и спутниковых данных на основе геоинформационных технологий[5,6].

Дистанционное зондирование Земли предполагает получение информации о состоянии ее поверхности, объектах на ней или в ее недрах любыми неконтактными методами. На основе данных дистанционных исследований можно получать информацию об изучаемом объекте в разных спектральных диапазонах: рентгеновском, ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном. Чем меньше длина волны, тем выше точность измерения положения объекта. Длины волн оптического диапазона меньше длин волн теплового или радиолокационного диапазона. Поэтому оптические наблюдения, фиксируемые на фотопленку или с помощью сканирующих устройств,

более информативны и точны. При сборе и накоплении данных учитываются различные отражательные свойства исследуемого объекта и состояние окружающей среды, оказывающие влияние на характеристики излучения, фиксируемые прибором дистанционного зондирования. Дальнейшая задача обработки заключается в интерпретации имеющихся данных для получения информации о свойствах исследуемых объектов[5].

Отличительным признаком и преимуществом спутниковых наблюдений состояния земной поверхности являются перманентная съемка, широта охвата территории, информативность за счет возможности комбинации спектральных каналов съемки, наличие электронных архивов наблюдений и возможность доступа к ним по сети Интернет[7].

В совокупности эти преимущества обеспечивают перспективность использования данных спутниковых наблюдений для мониторинга состояния нарушенных земель горной отрасли и исследования динамики их восстановления.

В Горном институте КНЦ РАН предложен методический подход к оценке состояния нарушенных земель горнопромышленного комплекса и динамики их восстановления по спутниковым данным на основании анализа массива пространственно-временного распределения согласованных (непротиворечивых) значений вегетационного индекса растительного покрова, химического состава горной породы, индекса стресса влажности [8]. Результаты анализа интегрированы в систему комплексного мониторинга нарушенных земель горной отрасли при их восстановлении в соответствии с принципом самоорганизации природных систем, рисунок 3.

Система комплексного мониторинга состояния нарушенных земель и динамики их восстановления основывается на современных средствах геоинформационного проектирования и ориентирована на интеграцию наземных и спутниковых данных для повышения эффективности обработки, хранения, анализа и представления информации с целью поддержки принятия решений по восстановлению нарушенных земель горной отрасли.

Кроме того, средствами геоинформационного проектирования осуществляется визуализация расчетных данных математического моделирования процессов, происходящих в природной среде, причем обмен данными между моделями и ГИС может быть двунаправлен: начальные условия для модели, в частности, координаты

объектов, могут быть получены из базы геоданных, в свою очередь, ГИС отображают результаты моделирования [9].

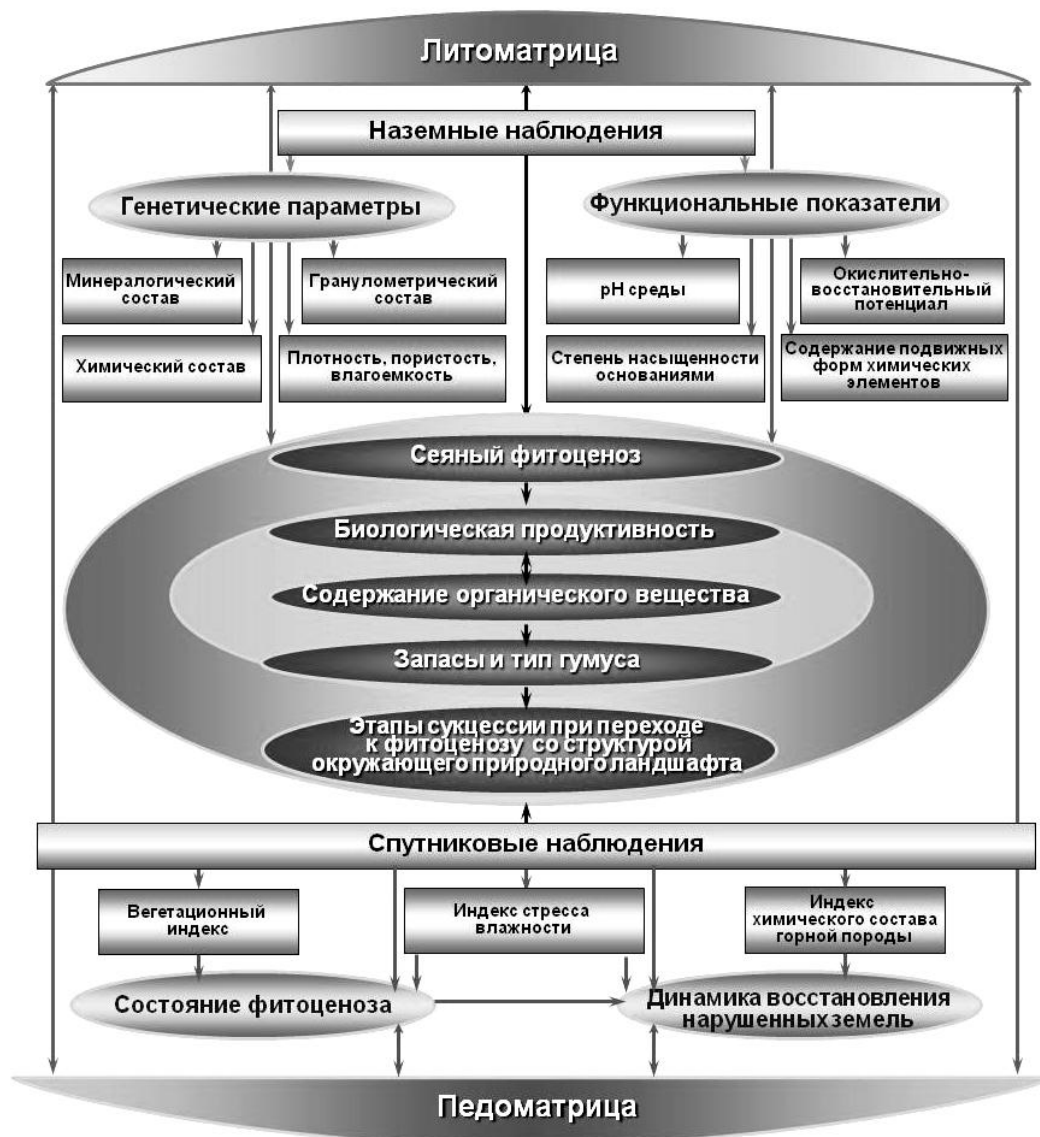


Рис. 3. Система комплексного мониторинга состояния нарушенных земель горной отрасли и динамики их восстановления в соответствии с принципом самоорганизации природных систем

На рисунке 4 представлена структурная схема многопользовательской геоинформационной системы комплексного мониторинга состояния нарушенных земель горной отрасли в динамике их восстановления.

Для эффективного оперирования геоданными на основе ГИС разработана электронная карта Кольского полуострова с информационным наполнением в виде пространственных характеристик и растровых изображений космоснимков исследуемых объектов Кольского горнопромышленного комплекса. Карта состоит из

слоев визуальных данных и встроенных таблиц атрибутивных данных, интегрирована с многопользовательской базой геоданных и является основным способом представления географической информации.

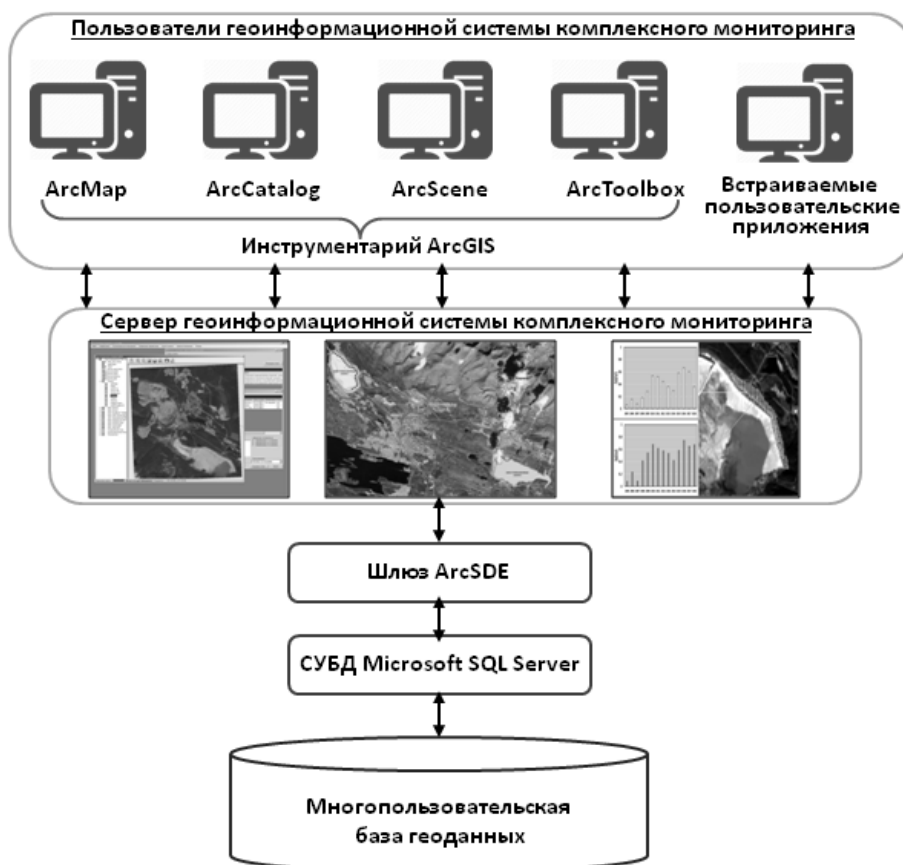


Рис. 4. Структурная схема геоинформационной системы комплексного мониторинга состояния нарушенных земель горной отрасли при их восстановлении

Электронная карта содержит следующие слои визуальных данных:

- предприятия Кольского ГПК (составные слои пространственных данных со встроенными таблицами атрибутивных данных исследуемых объектов);
- тематические карты (пространственные данные): геологическая карта, категории загрязнения верхнего слоя почв, превышение критических нагрузок серы, геохимический потенциал самоочищения, биоклиматический потенциал, годовые осадки, осадки за вегетационный период;
- иллюстрации (растровые данные без пространственной привязки): Кольский горнопромышленный комплекс, сырьевая база, охраняемые территории, схема водосборных бассейнов;

- мультиспектральные космоснимки высокого пространственного разрешения исследуемой территории.

Таким образом, для исследования состояния нарушенных земель горной отрасли и динамики их восстановления в соответствии с принципом самоорганизации природных систем разработана система комплексного мониторинга на основании данных спутниковых и наземных наблюдений. В основу системы положена интеграционная платформа, включающая в свой состав инструменты работы с базами геоданных, редакторы растровой и векторной графики, средства пространственного анализа данных, позволяя совмещать функционал геоинформационной системы с аналитическими алгоритмами для поддержки принятия решений по восстановлению нарушенных земель горной отрасли в соответствии с принципом самоорганизации природных экосистем.

#### **Список литературы**

1. Докучаев В.В. Избранные труды: В 3-х томах. - М., 1948—1949
2. Месяц С. П., Мельников Н. Н. Концепция и технологические решения восстановления нарушенных земель горнопромышленного комплекса // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005.
3. Месяц С. П., Волкова Е.Ю. Обоснование системы мониторинга при восстановлении нарушенных земель горнопромышленного комплекса //Сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ», 24-27 сентября 2013 г., Апатиты.: Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Горный ин-т Кольского научного центра РАН. – Апатиты; СПб.: «Реноме», 2013.- С.409-414
4. Mesyats S., Petrov A. Development Of Information Application For Decision Supporting During Ecological Restoration // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2018. V. 18. Issue 1.3. P. 295-302. <http://doi.org/10.5593/sgem2018/1.3>
5. Краснощёков А.Н., Трифонова Т.А., Мищенко Н.В. Геоинформационные системы в экологии // Владим. гос. ун-т. Владимир, 2004. С. 34.
6. Озарян Ю.А. Комплексная оценка состояния техногенной пустоши Комсомольского горнопромышленного района с использованием спутникового сервиса «Вега» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. №. 1. С. 70-78.
7. Land Remote Sensing and Global Environmental Change. B. Ramachandran et al. (eds.). Remote Sensing and Digital Image Processing. 2011. vol.11. pp.509-532.
8. Месяц С.П., Остапенко С.П. Методический подход к мониторингу восстановления нарушенных земель горнопромышленной отрасли по данным спутниковых наблюдений // «Горная промышленность». – 2018. – № 6. – С.22-25.
9. Кольцов А.С. Федорков Е.Д. Геоинформационные системы. Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2006. –С. 7.