© И.П. Иванов, Г.Б. Поспехов, 2007

УДК 624.131.1

И.П. Иванов, Г.Б. Поспехов

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Термин «мониторинг» появился в нашей технической литературе в результате научной дискуссии на Стокгольмской конференции ООН в 1972 году по докладу Р. Манна о глобальном уровне повторяющихся наблюдений за изменением окружающей среды в пространстве и во времени. В области инженерной геологии имелся определенный позитивный опыт стационарных наблюдений при изучении сложных геологических объектов, находящихся под воздействием природных и техногенных факторов. В качестве примеров подобных, т.н. наблюдательных станций можно назвать сейсмические, карстовые, оползневые, просадочные и другие, которые давали дополнительную информацию для уточнения прогнозных оценок и обоснования мероприятий по инженерной защите различных сооружений. В связи с этим многие специалисты довольно быстро начали строить новые программы научных исследований на сложных объектах, среди которых месторождения полезных ископаемых занимают особое положение по следующим закономерным тенденциям современного техно-генеза их месторождений.

Во-первых, следует отметить ухудшение горно-геологических условий разведки и разработки полезных ископаемых (большие глубины, высокая водообильность).

Во-вторых, экологизация горного производства с повышенными требованиями к обоснованию способов разработки конкретных месторождений, нарушению орогидрографии земельного отвода и рекультивации его следом за окончанием горных работ.

В-третьих, это незакономерная ликвидация горных предприятий из-за их нерентабельности и обоснование мероприятий по ограничению отрицательных последствий закрытия шахт и рудников и защиты территорий и людей. При этом здесь нет опыта проведения необходимых мероприятий с обеспечением экологической и социальной безопасности, как в пространстве, так и во времени.

В общем виде мониторинг инженерно-геологической направленности под названием литомониторинга был рассмотрен в 1985 году В.К. Епишиным и В.Т. Трофимовым в книге «Теоретические основы инженерной геологии» [3]. По их представлению он состоит из трех взаимосвязанных процедур: режимные наблюдения, перманентные прогнозы и управление. Для эффективного функционирования литомониторинга необходимо разработать его целевую программу, функциональную структуру, автоматизированную информационную службу.

На территориях разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых шли целенаправленные ис-

следования в зависимости от возникающих при их освоении задач. В системе «Центргелогия» Мингео РСФСР проблемы инженерно-геоло-гического мониторинга рассматривались в некоторых горнодобывающих районах Урала (в частности, в районе Нижнего Тагила) и уделялось большое внимание контрольным геофизическим наблюдениям [1]. В ряде докладов Г.Л. Фисенко [9], М.Е. Певзнера [8] и других специалистов на V Всесоюзной конференции по инженерной геологии в 1984 году инженерно-геологический мониторинг рекомендовался в качестве основного источника информации для прогнозов возможных осложнений при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. А.М. Гальперин и В.И. Стрельцов внедряли литомониторинг на железорудных карьерах КМА и на угольных разрезах Кузбасса [2], В.А. Мироненко [6] ставил задачи будущего геоэкологического мониторинга России, в котором проблемы гидрогеологических исследований на месторождения полезных ископаемых занимают ведущее положение. Хотелось бы здесь отметить, что на гидротехнических объектах, как показал И.А. Парабучев [7] большие задачи, выполненные стационарными станциями должны найти свое место в инженерно-геологических и гидрогеологических мониторингах разных масштабных уровней.

В одной из предыдущих работ была сделана попытка определить уровень масштабности инженерно-геологического мониторинга на территории осваиваемого месторождения исходя из главного критерия инженерных изысканий – прогнозирования изменения окружающей среды в условиях техногенного воздействия человека (техногенной среды). [4]

В современных исследованиях мы полагаем, что локальность является их приоритетным направлением, выполняемым на ведомственном уровне, позволяющем получать информацию, необходимую для решения основных задач для каждого конкретного этапа освоения данного объекта, а именно:

- выбор (обоснование) границ и способа разработки месторождения;
- определение степени изменения окружающей среды в пределах горного и земельного отвода;
- прогноз последствий взаимодействия горных работ с геологической средой в пространстве и во времени;
- прогноз устойчивости горных сооружений (выработок);
- обоснование мероприятий инженерной защиты территории в период эксплуатации (ограничение техногенного воздействия и управление техногенными процессами);
- подготовка нарушенных территорий к технической рекультивации;
- прогноз результатов рекультивации (технической и биологической);
- разработка рекомендаций по использованию восстановленных территорий (допустимые техногенные воздействия в пространстве и во времени).

В настоящее время термин «рекультивация» не должен ограничивать инженерно-геологические исследования только в период выполнения работ по рекультивации нарушенных земель. Исходя из ранее перечисленных специфических современных условий разведки, разработки и ликвидации горных работ по разным причинам, вытекающих из проектов горных предприятий или стихийных стечений обстоятельств дает основание готовить необходимую информацию для решения перечисленных задач в любое время и в любом районе выполнения горных работ. Своевремен-

ное обеспечение горного производства инженерно-геологической информацией, получаемой с мониторинговых процедур, дает возможность выявить степень угрожаемости различных техногенных процессов в различные периоды их подготовки, развития и проявления, прогнозировать наиболее опасные из них и ограничивать их масштабы [5].

Определение видов и объемов инженерно-геологических изысканий является очень сложной проблемой, зависящей от характера геологической (природной) обстановки, техногенного воздействия, факторов-про-цессов, возникающих в результате динамического взаимодействия в разные периоды горного производства. Можно с уверенностью сказать, что полевые исследования (наблюдения) и моделирование различных сложных ситуаций будут преобладать. Среди них отметим важность выполнения следующих видов исследований.

1. Инженерно-геологическая съемка крупных масштабов от 1:10000 до 1:1000 в пределах земельного отвода и до 1:25000 в прилегающих районах.

2. Геоморфологическое районирование территории земельного отвода с выделением районов прогнозирования изменения орогидрографической обстановки в результате освоения.

3. Инженерно-геологическая характеристика геологического строения по природным и техногенным обнажениям с учетом степени выветрелости, трещиноватости и обводненности.

4. Геофизические работы поверхностные и в скважинах.

5. Наблюдения по профильным линиям за деформациями горных пород под влиянием горных работ.

6. Наблюдения за формированием и изменением порового давления.

7. Наблюдения за формированием техногенных массивов горных пород в отвалах, хвостохранилищах и других сооружениях.

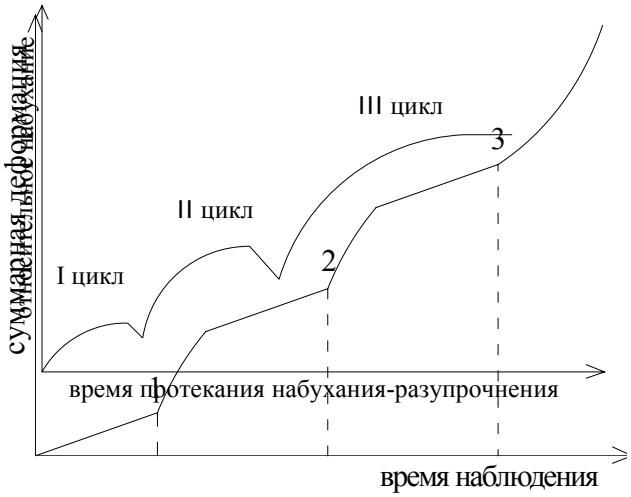
8. Наблюдения за геодинамическими процессами и явлениями на бортах карьера и оседанием земной поверхности.

9. Моделирование с целью прогноза последствий взаимодействия геологической и техногенной сред.

10. Обработка материалов наблюдений и исследований с целью прогноза геодинамических процессов и явлений на рекультивируемых территориях.

Особое внимание следует уделять изучению районов, прилегающих к границам рекультивируемых территорий. Практика показывает, что в этих районах происходят изменения и загрязнения, создающие неблагоприятные условия жизнедеятельности людей. В результате выполнения исследований и наблюдений в этих районах необходимо строить прогнозные карты ожидаемых процессов и своевременно рекомендовать мероприятия по управлению последствиями техногенного воздействия. При решении задач закрытия горных предприятий из-за их нерентабельности необходимо обеспечить прилегающие районы инженерно-геологической и гидрогеологической информацией о новых условиях жизнедеятельности в этих районах с учетом современных экологических требований.

В районах, прилегающих к нерабочим бортам карьеров и к бортам их погашения, которые будут являться основанием прислоненных внутренних отвалов, на стадии рекультивации локальный мониторинг становится приоритетным источником информации о новом физическом и напряженном состоянии горных пород глинистого состава или глинистого цемента. На техногенных



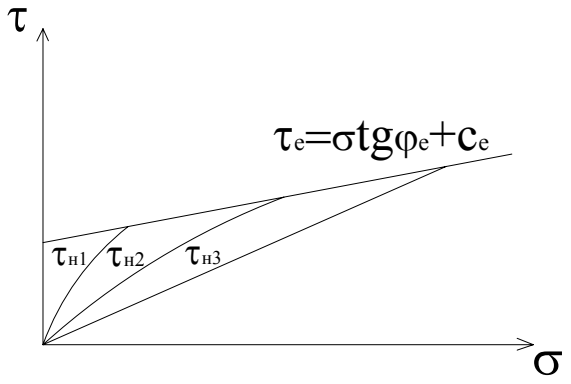


Рис. 2. Графики сопротивления сдвигу глинистой породы естественного состояния (c_e, ϕ_e) и после набухания ($\tau_{н1}$, $\tau_{н2}$, $\tau_{н3}$)

обнажениях, как показывает наш опыт, развивается процесс набухания-разупроч-нения циклического характера (см. рис. 1). Набухание происходит после увлажнения во время обводнения, а усадка в засушливый период года. Таких циклов в различных глинистых породах наблюдается от трех до пяти, после чего порода становится рыхлой и больше не реагирует на увлажнение-высыхание. При этом относительная деформация набухания увеличивается от цикла к циклу, а следовательно растет разупрочнение (рис. 2).

Рис. 1. Цикличность процесса набухания-усадки в глинистых породах техногенных откосных сооружений

При моделировании в лабораторных условиях на конкретных моделях при свободном набухании можно получить количественную оценку изменения физического состояния набухающей породы, но глубину проникновения процесса разупрочнения, зависящей от величины давления набухания, можно определить в полевых условиях, на конкретных локальных участках мониторинга. В этом случае можно уточнить лабораторные прогнозы, которые в общем виде для элементарного кубика на глубине h можно выразить следующем образом:

$$\sigma_я = \gamma h - \gamma_в h_в \quad \text{и}$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu}\sigma_z ,$$

где γ – удельный вес вышележащих пород, $\gamma_в$ – удельный вес воды, $h_в$ – высота столба воды над элементарным кубиком, μ - коэффициент Пуассона.

Показатель возможности набухания определяется из выражения $K_н = \frac{\sigma_н - \sigma_0}{\sigma_н}$, где $\sigma_н$ – давление набухания, σ_0 – давление (по вертикали), действующее в рассматриваемой точке.

Таким образом, для точного определения напряженного состояния в подстилающем массиве глинистых пород не обойтись без информации, полученной в результате локального мониторинга.

Полученные данные потребуются для проверки обратным расчетом величины сопротивления сдвигу пород в области формирования оползневой поверхности. Для этого как известно надо фиксировать моменты предель-ного равновесия при отсутствии осложняющих моментов резкого изменения напряженного состояния (сейсмический толчок, динамическая нагрузка, другое не подлежащее оценке техногенное воздействие). Обратный расчет сцепления учитывает структурное ослабление, а также масштабный фактор при каком-то условном (лабораторном) значении угла трения по реально сформированной поверхности скольжения. Поэтому полученное значение сцепления можно использовать для прогноза устойчивости в аналогичных условиях, для которых оно является наиболее надежным и точным по сравнению с величинами, полученными лабораторными и полевыми экспериментальными определениями.

Рис. 3. График деформаций слоистого откосного сооружения при последовательном формировании поверхности скольжения: *1* и *2* – время разрушения более хрупких слоев, *3* – оползень по глине

Специалисты, изучающие проблемы устойчивости реальных природно-техногенных систем давно отмечали последовательное ступенчатое формирование поверхности разрушения в этой системе (Ф.П. Саваренский, Н.Н. Маслов, Е.П. Емельянова и др.). Действительно как можно изучать деформационный процесс, предшествующий разрушению горных пород без учета их деформационных характеристик (по существу, расчет устойчивости производится только с учетом прочностных параметров: сопротивление сдвигу, растяжению, сжатию). На рис. 3 мы приводим данные наблюдений за деформирующимся слоистым массивом горных пород, на котором схематично показана специфика последовательного формирования поверхности скольжения в горизонтальных слоях с разными деформационными свойствами. В начале процесса деформирования шло разрушение тонких более хрупких прослоев, а затем деформация определялась глинистыми пластичными породами. Но такой характер деформирования можно обнаружить только наблюдениями детального мониторинга непрерывного действия. На базе этих наблюдений можно прогнозировать параметры устойчивой системы с учетом фактора времени, построив графики $\tau=f(\sigma)$ с ограничением по величине деформации разрушения, которая является минимальной для более хрупких слоев и значительно большей для пластичных глин. Со временем коэффициент устойчивости породного массива будет снижаться за счет разрушения слоев со сцеплением жестких связей и передачи нагрузки на пластичные глины с более низкой прочностью.

В заключение обратим внимание на роль инженерно-геологического мониторинга при оценке длительной устойчивости территорий, изучаемых при разработке месторождений и их рекультивации. Современные проблемы длительной устойчивости сложных природно-техногенных систем прогнозируется на базе реологических моделей глинистых горных пород Больцмана-Вольтера и Бингама-Шведова. Критерии перехода глинистых горных пород в реологический режим установлены Н.Н. Масловым на базе сравнения выражений сопротивления сдвигу в соответствии с характеристиками закона Мора-Кулона в следующем виде:

- $\tau>\sigma\ tg\phi+C_W+C_C$ – разрушение происходит в течение короткого промежутка времени;
- $\tau<\sigma\ tg\phi+C_C$ – переход в реологический режим не наступает;

- $\tau > \sigma tg\phi + C_C$, но $\tau < \sigma\ tg\phi + C_W + C_C$ – устойчивость обеспечивается только на определенный период времени, который очень сложно прогнозировать (по известным обозначениям Н.Н. Маслова [5]: C_W – сцепление связности, восстанавливающееся со временем, C_C – сцепление за счет жестких связей, не восстанавливающееся во время деформирования системы).

Опыт показывает, что прогнозы длительной устойчивости в однородных глинистых породах оцениваются с достаточным коэффициентом запаса устойчивости по критерию учета набухания-разупрочне-ния, который больше требуемого по Н.Н. Маслову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бучкин М.Н., Зайцев А.С.* Проблема инженерно-геологического мониторинга в районах деятельности горнодобывающих комплексов. Тезисы докладов V Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии», 1984, Свердловск, т.2.

2. *Гальперин А.М., Стрельцов В.И.* Литомониторинг на железорудных карьерах КМА // Инженерная геология, 1987, №3.

3. *Епишин В.К., Трофимов В.Т.* Литомониторинг – система контроля и управления геологической средой // В кн. «Теоретические основы инженерной геологии», М., Недра, 1985.

4. *Иванов. И.П.* Локальный инженерно-геологический мониторинг на месторождениях полезных ископаемых // Наука в СПГГИ, 1997, вып. 2.

5. *Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б.* Инженерная геодинамика, СПб., Наука, 2001.

6. *Мироненко В.А.* О концепции государственного гидрогеоэкологического мониторинга России // Геоэкология, 1993, 1

7. *Парабучев И.А.* Мониторинг процессов взаимодействия гидротехнических сооружений с геологической средой // Инженерная геология 1992, 2.

8. *Певзнер М.Е.* Развитие горнодобывающей промышленности и проблемы инженерной геологии месторождений полезных ископаемых // Тезисы докладов V Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии», 1984, Свердловск, т.2.

9. *Фисенко Г.Л., Кагермазова С.В.* Задачи инженерной геологии в горном деле // Тезисы докладов V Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии», 1984, Свердловск, т.2.

Коротко об авторах

Иванов И.П., Поспехов Г.Б. – Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).