

ПРОГНОЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОМ АНАЛОГИЙ

© 2009 г. И. В. Абатурова

Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Поступила в редакцию 20.05.2009 г.

Рассмотрены особенности прогноза инженерно-геологических условий отработки золоторудных месторождений на стадии изучения с использованием метода аналогий; обоснована последовательность прогнозирования методом аналогий; определены критерии подобия, на основе которых доказана аналогия ряда месторождений; выполнен прогноз развития инженерно-геологических процессов.

Ключевые слова: критерии геологического подобия, петрографический состав, метасоматоз, трещиноватость, модель-аналог, прогноз.

Трудность решения задачи количественной оценки устойчивости пород при сооружении открытых или подземных горных выработок в горноскладчатых областях аналитическими методами привела к необходимости использования метода аналогий. Сущностью метода является выявление соответствия между объектом (прототипом) и его аналогом и перенесение важных для прогноза качеств с аналога на прототип [2]. Учитывая адекватность протекания инженерно-геологических процессов и механизма их проявления, можно сделать вывод об аналогии объектов: “от сходства действия к сходству причин”. Общность инженерно-геологических процессов предопределяет единство инженерно-геологических условий аналога и прототипа.

В нашем случае прогнозирование устойчивости пород методом аналогии заключается в сопоставлении модели развития инженерно-геологических процессов в изучаемой геосистеме с информацией, полученной в результате детального анализа подобной геосистемы-аналога.

Процесс прогнозирования методом аналогий рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- поиск и изучение объекта-аналога;
- выбор критериев геологического подобия;
- перенос информации с аналога на объект прогноза.

В случае прогноза инженерно-геологических условий отработки месторождений полезных ископаемых поиск аналога подразумевает нахождение эксплуатируемых месторождений, которые по геологическим признакам сходны с изучаемым. Точность прогноза по методу аналогий должна определяться степенью сходства условий изучаемого объекта и аналога. Использование метода аналогий наи-

более эффективно на стадиях изучения месторождения и проектирования горнорудного предприятия.

Доказательства подобия рассматриваются, как правило, на качественном уровне. Критерии геологического подобия выводятся на основании изучения основных факторов, определяющих физическую природу объекта. Поэтому обоснованность выводов прогноза целиком зависит от количества и значимости выбранных критериев.

Прогнозную оценку методом аналогий целесообразно выполнять в 2 этапа:

1 этап – выбор факторов, определяющих физическую природу объекта.

2 этап – обоснование критериев подобия (однозначности).

Рассмотрим применение метода аналогий на примере Светлинского и Воронцовского золоторудных месторождений, которые на основании ряда особенностей инженерно-геологических условий объединены в особый “светлинский” тип месторождений [1].

Светлинское месторождение расположено на Южном Урале. Рудное поле месторождения приурочено к Светлинской грабен-синклинальной структуре, находящейся на стыке структурно-формационных зон Восточно-Уральского поднятия (Челябинско-Суундукского мегантиклинория – на востоке и Арамильско-Сухтелинского мегасинклинория – на западе). В геологическом строении месторождения принимают участие палеозойские породы рудовмещающего и подстилающего комплексов (рис. 1). Первый представлен пачками метатерригенных пород (биотит-кварцевых, биотит-серицит-кварцевых, кварц-серицит-биотитовых сланцев), подстилающий комплекс сложен мраморами. Все породы месторождения изменены метасоматическими процессами (амфиболитиза-

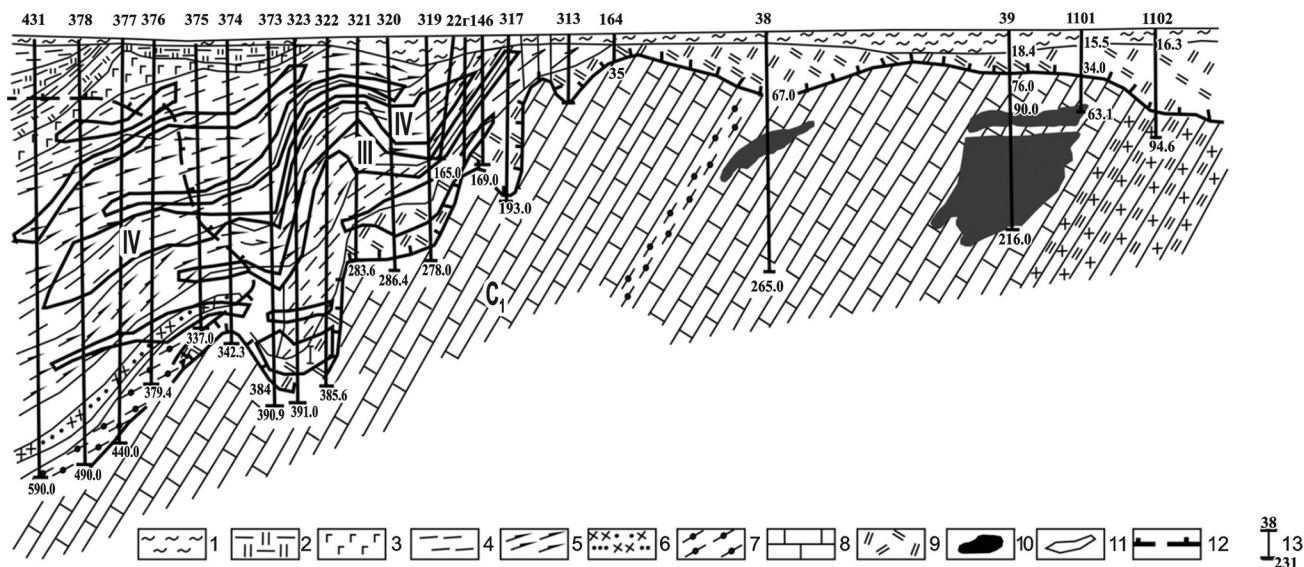


Рис. 1. Геологический разрез Светлинского месторождения по [5].

1 – глинистые отложения, 2 – кремнисто-сланцевые сланцы, 3 – габбро, 4 – алевролиты, 5 – амфиболовые породы, 6 – кварциты, 7 – углисто-глинистые сланцы, 8 – мрамор, 9 – бесструктурная кора выветривания, 10 – карстовые полости, 11 – рудные тела, 12 – границы распространения коры выветривания, 13 – скважина, её номер, глубина.

ция, биотитизация, хлоритизация, карбонатизация, окварцевание, серицитизация, аргиллизация) [5].

Воронцовское месторождение находится на Северном Урале, в восточном крыле Тагил-Магнитогорского прогиба, в юго-западной экзо-контактовой части крупного Ауэрбаховского зонального плутона габбро-гранитного состава. Вулканогенно-осадочные породы на площади месторождения слагают моноклинал, в основании которой залегают известняки с прослоями туффи-тов и алевролитов. Эта толща согласно перекрывается вулканогенно-осадочными породами: туфоалевролитами, туффитами, порфиритами. Известняки на контакте с вулканогенными породами превращены в известковые брекчии с порфировым цементом. На контакте с интрузией известняки мраморизованы. В приконтактовой зоне интрузии (в известняках, вулканогенных, вулканогенно-осадочных породах) отмечаются полосы и пятна скарирования. Породы прорваны дайками диабазов и габбро-диабазов (рис. 2).

Район месторождения пересекают два крутопадающих разлома субмеридионального и субширотного простираний. Кроме субвертикальных фиксируются субгоризонтальные перемещения пород.

Интенсивное дробление, метасоматические преобразования пород месторождений способствовало выветриванию и карстообразованию с развитием “карстовой тектоники” и образованием мощной коры выветривания площадного (in situ) и линейного типа.

В качестве факторов, определяющих инженерно-геологические условия месторождений “светлинского” типа, были выбраны:

- геолого-структурная позиция,
- петрографический состав пород,
- особенности метасоматических изменений,
- тектоническая обстановка и связанная с ней трещиноватость и блочность,
- физико-механические свойства пород,
- степень выветрелости пород.

Моделью-аналогом месторождений “светлинского” типа с учетом вышеперечисленных факторов выбрано Астафьевское месторождение кварца (рис. 3), которое является составной частью одноименного хрусталеносного “узла”, занимающего южную часть Арамилско-Сухтелинского мегасинклинария. В его строении участвуют породы двух структурных ярусов. Нижний ярус слагают метаморфизованные вулканогенно-осадочные (серицит-хлорит-кварцевые сланцы, андезиты) породы палеозойского возраста (О-S). Верхний структурный ярус сложен углисто-карбонатной и углисто-сланцевой толщами (С). Дайки и жилы представлены плагиогранитами, плагиоаплитами. В породах отмечены биотитизация, серицитизация, окварцевание, хлоритизация, аргиллизация. Рудное поле осложнено многочисленными разрывными нарушениями.

Следующим важным этапом прогнозной оценки является доказательство аналогии, обоснование критериев подобия. К сожалению, геологическая среда – сложная открытая многофункциональная система, не все составляющие ее факторы можно выразить через количественные параметры. Поэтому при доказательстве аналогий ряд сопоставлений проводится на основе качественного анализа основных факторов, определяющих физическую

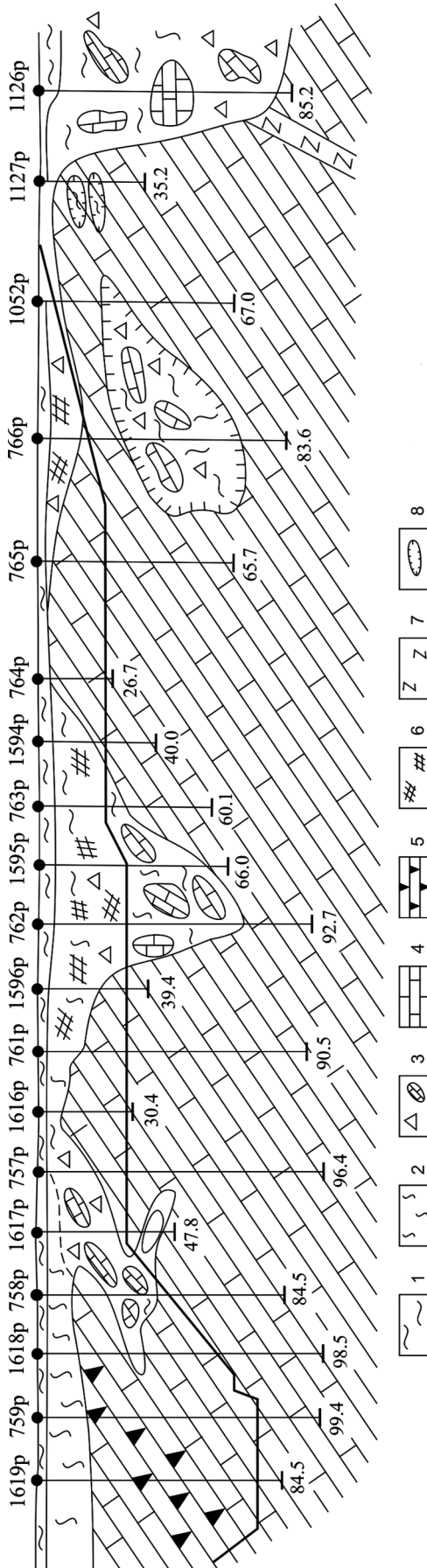


Рис. 2. Геологический разрез Воронцовского месторождения по [4].

1 – аллювиальные, пролювиальные, делювиальные глины; 2 – триас-юрские глинистые структурные коры выветривания; 3 – обломки в карстовых глинах; кварца и известняка; 4 – известняки; 5 – известняки брекчированные; 6 – переслаивание туфопесчанников, туфалеволитов с линзами известняка; 7 – дайка диабазов; 8 – карстовые полости, воронки.

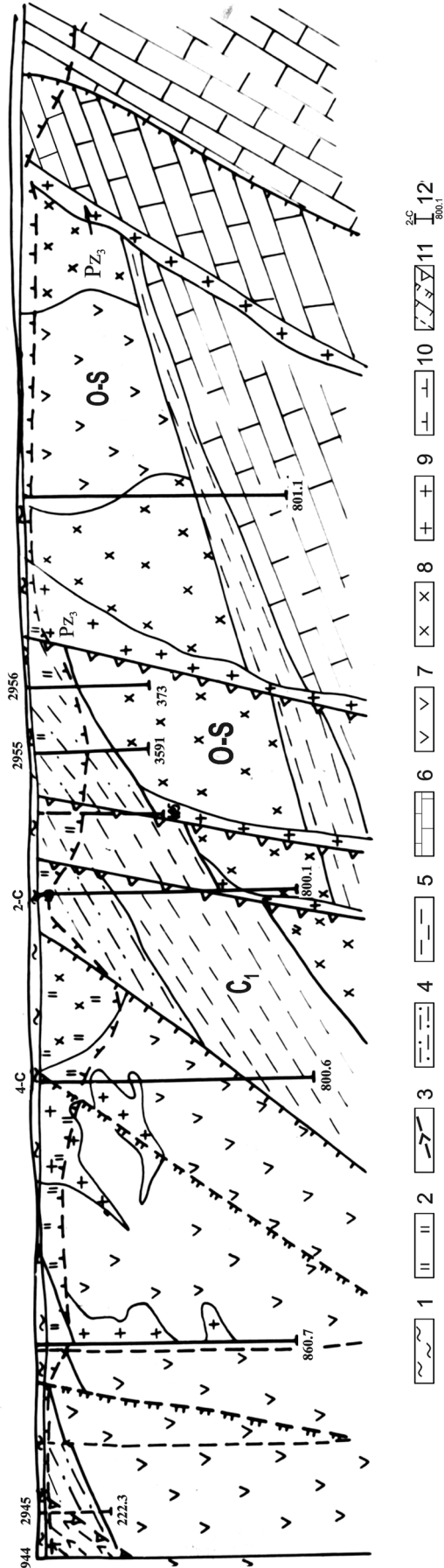


Рис. 3. Геологический разрез Астафьевского месторождения по [3].

1 – глинистые отложения; 2 – выветрелые породы; 3 – эффузивно-сланцевая толща; 4 – углисто-сланцевая толща; 5 – углисто-карбонатная толща; 6 – мраморизованные известняки; 7 – амфиболиты; 8, 9 – интрузивные породы; 8 – диориты, 9 – граниты; 10 – граница распространения коры выветривания; 11 – различные тектонические нарушения; 12 – скважина, ее номер, глубина.

Таблица 1. Оценка параметров физико-механических свойств пород коры выветривания по числу баллов

Физико-механические свойства пород коры выветривания							
Плотность		Показатель текучести		Угол внутреннего трения		Удельное сцепление	
балл	т/м ³	балл	доли единиц	балл	град.	балл	МПа
5	>2.5	15	<0	15	>30	15	>0.12
4	2.3–2.5	4	0.00–0.25	12	25–30	12	0.09–0.12
3	2.1–2.3	3	0.25–0.50	9	20–25	9	0.07–0.09
2	1.9–2.1	2	0.50–0.75	7	15–20	7	0.05–0.07
1	1.7–1.9	1	0.75–1.00	4	10–15	4	0.03–0.05
0	<1.7	0	1.00	1	5–10	1	0.01–0.03

Таблица 2. Оценка параметров физико-механических свойств скальных горных пород

Физико-механические свойства скальных горных пород							
Плотность		Предел прочности на одноосное сжатие (по Р. Гудману)		Коэффициент крепости (по М. Протодьяконову)		Размер элементарного структурного блока	
балл	т/м ³	балл	МПа	балл	доли единиц	балл	м
5	>3.1	15	>200	15	15–10	15	>0.15
4	3.0–3.1	12	100–200	12	8–15	10	0.10–0.15
3	2.9–3.0	9	50–100	9	3–7	5	0.07–0.10
2	2.8–2.9	7	25–50	7	1.5–2.0	0	<0.07
1	2.7–2.8	4	10–25	4	2.0–1.0	–	–
0	<2.7	0	3–10	0	<1.0	–	–

природу объекта, к которым могут быть отнесены: геолого-структурная позиция месторождения, тип оруденения, формы рудных тел, особенности метасоматических изменений, характер и степень тектонических изменений, система отработки и т.д.

В качестве количественных критериев подобия могут быть использованы: показатели физико-механических свойств, степень трещиноватости, интенсивность инженерно-геологических процессов (критерии оползнеобразования, промоинообразования) [6].

Из значительного набора физико-механических свойств были выбраны восемь параметров, определяющих устойчивость массива скальных горных пород и коры выветривания при отработке. С целью их объективной оценки показатели разделены на группы с различными значениями, каждой из которых присваивался балл. Пределы изменения параметров в каждой группе выбраны с учетом их предельных значений и коэффициента вариации, а также общепринятых классификаций (табл. 1, 2).

Результаты сопоставления геологических факторов, критериев подобия при близкой сумме баллов (табл. 3) доказывают правомерность выбора модели-аналога и возможность перенесения и использования полученной информации для прогноза условий строительства и эксплуатации месторождений “светлинского” типа.

Доказанная аналогия позволяет, оценив условия отработки тип и масштабы инженерно-геологических процессов Астафьевского месторождения, выполнить прогноз развития инженерно-геологических процессов на месторождениях “светлинского” типа.

На основе инженерно-геологических исследований Астафьевского месторождения и оценки условий его эксплуатации, выявлены основные инженерно-геологические процессы, возникающие при разработке. Среди них наиболее широко распространены промоины V-образной формы в породах коры выветривания, причиной образования которых являются ливневые осадки. Общий объем промоин составляет 13 тыс. м³. За несколько лет развитие крупных промоин распространилось с верхних уступов на нижележащие. В 1977 г. они протягивались с горизонта 370 до горизонта 315, а в 1982 г. промоины достигли горизонта 255. Выделяются промоины мелкие (ширина 0.2–1.0 м, глубина 0.5–1.0 м), не выходящие за пределы одного уступа, и крупные (ширина 10–12 м, глубина до 7 м). Формирование промоин сопровождалось образованием конусов выноса и языков пульпообразной массы, заливающей борта и дно карьера, а также оползней, формирующихся преимущественно в породах вскрыши и захватывающих породы коры выветривания. Объем оползней достиг 100–600 м³. В числе

Таблица 3. Факторы и критерии аналогии

Признаки	Аналог – Астафьевское месторождение	Светлинский тип	
		Светлинское месторождение	Воронцовское месторождение
Геолого-структурная позиция	Приурочены к шовным зонам, на границе антиклинальных и синклинальных структур	Мраморизованные известняки и мрамора, 20–30%	Мраморизованные известняки и мрамора, 35–45%
Петрографический состав пород и процент территории, занимаемый данным типом породы от общей площади	Серицит-хлорит-кварцевые сланцы, андезиты, 30–35% Углистые сланцы, филлиты, углисто-карбонатные сланцы, мрамора, 20–25% Кварц-плагиоклазовые породы, 5–10% Диориты, 5–10%	Амфиболиты, кварц-биотит-амфиболовые породы, биотит-серицит-кварцевые, углисто-кварцевые, 10–15% – Кварциты, 2–3%	Туфопесчаники, туфоалевролиты, туффиты, 10–15% Брекчия известняка, 5–10%
Характер и интенсивность изменения пород метасоматическими процессами	Биотитизация, серицитизация, карбонатизация, окварцевание, аргиллизация		Андезиты и их туфы, порфириты андезитобазальтовые, 3–7%
Структура кор выветривания и участков, занимаемый породами коры выветривания, %	Развитие площадных и линейных кор выветривания	20–40	10–15
Минералого-геохимический профиль коры выветривания (зона литомаржа)	Каолинит-гидрослюдистый		Каолинит-монтмориллонит-гидрослюдистый
Мощность коры выветривания, м	10–320	10–400	10–100
Трещиноватость пород, балл	10	10	5
Физико-механические свойства пород коры выветривания площадного типа (зона литомаржа), в баллах	ρ C ϕ J_L	2 4 7 5	2 9 7 4
Физико-механические свойства скальных горных пород, в баллах	Вулканогенные, вулканогенно-терригенные, терригенно-карбонатные метаморфизованные	2 9 9	2 12 9
Гидротермально и метасоматически измененные	ρ R_c f_k	2 12 12	3 12 12
Общая сумма баллов	78	77	81

Примечание. ρ – плотность грунтов, C – удельное сцепление, ϕ – угол внутреннего трения, J_L – показатель текучести, R_c – предел прочности при сжатии, f_k – коэффициент крепости.

Таблица 4. Прогноз инженерно-геологических условий отработки месторождений “светлинского” типа методом аналогий

Компоненты инженерно-геологических условий	Карьер-аналог	Месторождения “светлинского” типа	
	Астафьевское месторождение	Светлинское	Воронцовское
Породы	Амфиболиты, интрузивные породы, мрамора, углисто-карбонатные породы	Амфиболиты, биотит-кварцевые, кварц-серицитовые сланцы, мрамора	Туфы, туфопесчаники, андезиты, мрамора
Конструктивные параметры карьера			
Глубина отработки, м	200	350	300
Высота уступов, м	10	10	10
Ширина берм безопасности, м	7	5–7	5–7
Углы откосов бортов			
Скальные породы	30–40	35–40	35–40
Породы кор выветривания	20–23	18–22	18–22
Инженерно-геологические процессы и явления			
Скальные породы	Вывалы, осыпи, обрушения	Вывалы, осыпи, обрушения	Вывалы, осыпи, обрушения
Промоины, поверхностная эрозия, суффозионные процессы, оползни			
Оползни, поверхностная эрозия, промоины			
Породы кор выветривания			
Вскрышные породы			
Общий объем оползней, м ³	100–600	16000	—
Общий объем промоин, м ³	13000	1260	—
Критерий оползнеобразования	0.026	0.26	—
Критерий промоинообразования	0.002	0.003	—

других инженерно-геологических процессов наблюдаются: поверхностная эрозия, суффозия, осыпи.

На основании установленных критериев подобия (табл. 3) был осуществлен прогноз изменения инженерно-геологических условий при отработке месторождений “светлинского” типа. Высказана вероятность формирования промоин, суффозионного выноса, оплывания бортов, оползней в породах коры выветривания, вывалов и осыпей в скальных грунтах (табл. 4).

Важным моментом при прогнозе инженерно-геологических условий месторождений является его верификация. На стадии изучения и проектирования этот этап практически всегда отсутствует. Однако в последние годы очень активно используется метод геолого-промышленной оценки месторождений с проходкой небольших по объему горных выработок. В этом случае и может быть выполнена верификация прогноза. Так, проходка Светлинского опытно-эксплуатационного карьера глубиной 60 м, с углами заложения 28–38° в мягких связных породах, позволила оценить достоверность метода аналогий. После вскрытия карьером верхних горизон-

тов разреза в породах вскрыши, коры выветривания стали образовываться промоины, оплывины, оползни, системы закольных трещин.

Первоначальные размеры промоин составляли 20–30 см в ширину, до 4 м в длину и до 0.3–0.5 м в глубину. Через месяц их размеры возросли до ширины 1.0–1.5 м, глубины 1.5–2.0 м и длины до 10 м, а к концу отработки карьера промоины достигли дна и ширины 3.5–4.0 м, глубины 3.0–3.5 м (рис. 4а, б, в). Формирование оползней начиналось в пределах вскрышных пород, а затем постепенно захватывало породы коры выветривания. Высота бровки срыва составляла от 5–6 до 15–20 м. Часто они опущены на 2–5 м без нарушения сплошности. К концу отработки опытного карьера оползни достигли 300–400 м по фронту и охватили 3–5 уступов. Через год после отключения дренажных скважин и восстановления уровня подземных вод размер оползневого тела по фронту достиг 400–500 м, глубина захвата откоса – 5 м и длина 60 м.

Различия общих объемов оползневых смещений (критерии оползнеобразования) сравниваемых объектов объясняются предварительным осу-

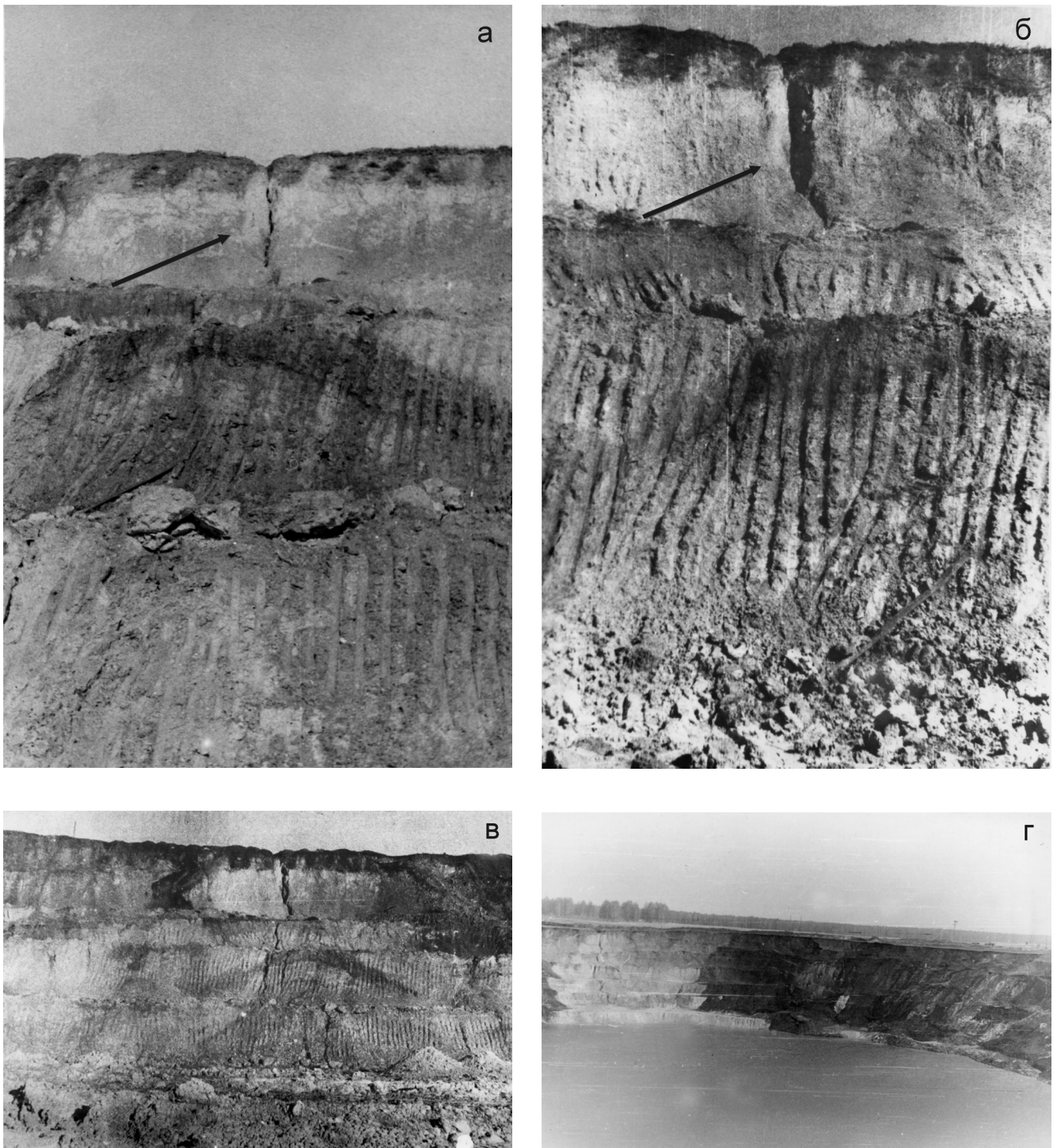


Рис. 4. Динамика формирования промоины в борту Светлинского опытно-эксплуатационного карьера.

а – июнь 1986 г., ширина 0.2–0.3 м, длина 4.0 м, глубина 0.3–0.5 м; б – июнь 1986 г., ширина 1.0–1.5 м, длина 10.0 м, глубина 1.5–2.0 м; в – август 1987 г., ширина 1.5–2.0 м, длина 20.0 м, глубина 2.0–3.5 м; г – май 1988 г., ширина 3.5–4.0 м, длина 60.0 м, глубина 3.0–3.5 м.

шением пород Астафьевского карьера, снижающим влажность пород, и увлажнением глинистых пород Светлинского карьера за счет фильтрационных потерь из водоотводных каналов и его “мокрой” консервации.

Вывод: метод аналогий – эффективный метод прогноза условий отработки месторождений на стадии изучения в сложной инженерно-геологической ситуации, который может быть выполнен на основе качественных и количественных критериев подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатурова И.В.* Методика прогноза инженерно-геологических условий месторождений "светлинского" типа на стадии разведки. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГРИ, 1994.
2. *Каган А.А.* Инженерно-геологическое прогнозирование. М.: Недра, 1984. 196 с.
3. О результатах геологоразведочных работ с подсчетом запасов пьезооптического кварца и горного хрусталя в пределах Западного (1974–1984 гг.) и Восточного (1979–1984 гг.) участков Астафьевского месторождения. Отчет / Н.С. Кухарь. Свердловск: ПГО "Уралгеология", 1984.
4. Отчет по поисковым работам, проведенным Воронцовской ГРП на коренное золото на Песчанско-Воронцовском рудном поле в Краснотурьинском районе Свердловской области в 1984–1989 гг. / В.Н. Бобров, Б.А. Гладковский. Свердловск: ПГО "Уралгеология", 1989.
5. Отчет по детальной разведке, проведенной Кочкарской ГРП на коренное золото на Южном Урале в 1984–1990 гг. / В.В. Федосеев. Свердловск: ПГО "Уралгеология", 1990.
6. *Пашкин Е.М.* Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей. М.: Недра, 1981. 135 с.

Рецензент В.Н. Огородников

The forecast of engineering-geological conditions of solid minerals deposit mining by analog method at the investigate stage

I. V. Abaturova

***Urals State Mining University*

The characteristics of engineering-geological conditions forecast of gold-ore deposits mining at the investigate stage by analog method are considered. The sequence of analog method forecasting is proved. The criteria of similarity of some deposits are determined. The forecast of development of engineering-geological processes is made.

Key words: criteria of geological similarity, petrographic composition, metasomatism, fissuring, model-analogue, the forecast.