

УДК 622.831

Балек Александр Евгеньевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул.Мамина-Сибиряка,58;
e-mail: balek@igduran.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В
РЫХЛЫХ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ С
УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОЙ
ГЕОДИНАМИКИ*****Balek Alexander E.**

Doctor of technical sciences,
leading research assistant,
the Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
Mamin-Sibiryak st., 58
e-mail: balek@igduran.ru

**PROVIDING UNDERGROUND
STRUCTURES STABILITY IN TOP
FINE-GRAINED DEPOSITS WITH DUE
REGARD FOR UP-TO-DATE
GEO-DYNAMICS***Аннотация:*

На основании результатов натурных исследований в статье обосновывается необходимость учета современных геодинамических процессов при проектировании устойчивых параметров вертикальных и горизонтальных горных выработок в рыхлых покровных отложениях, повсеместно находящихся в условиях совместного деформирования с подстилающим массивом скальных пород. Анализируется механизм нагружения крепи при проходке и эксплуатации выработок в данных условиях.

Ключевые слова: натурные исследования, горный массив, напряженно-деформированное состояние, подземные выработки, проходка, крепление

Abstract:

On the basis of in-situ results the necessity of considering up-to-date geodynamic processes in designing stable parameters of mining workings in top fine-grained deposits that are everywhere in conditions of joint deformation with underlying rock mass is grounded. The mechanism of loading the under-ground support and lining during shaft sinking and drifting operations in such conditions is analyzed.

Key words: in-situ researches, rock mass, stressed-deformed state, underground workings, shaft sinking and drifting, sup-port and lining

Принято считать, что на небольших глубинах в рыхлых покровных отложениях современная геодинамика оказывает существенно меньшее влияние на устойчивость подземных сооружений, чем в массивах скальных горных пород. Это объясняют разгрузкой горизонтальных тектонических напряжений (в том числе и формирующихся от подвижек подстилающей толщи скальных пород по структурным нарушениям) вследствие низко модульности покровных отложений и их близости к свободной земной поверхности. Между тем опыт ИГД УрО РАН свидетельствует, что в таких условиях «традиционные» геомеханические расчеты, выполненные лишь с учетом статических напряжений от собственного веса вмещающих пород и максимальных амплитуд тектонических подвижек, не гарантируют от нарушений крепи подземных сооружений.

Так, в тектонически весьма активном (по данным натурных исследований ИГД УрО РАН [1]) регионе на юго-востоке Башкирии при вскрытии медно-колчеданного месторождения сложности с нарушениями крепи, связанные с геодинамикой горного массива, возникли уже на начальном этапе строительства рудника: при проходке приустьевой части шахтных стволов в рыхлых покровных отложениях.

Месторождение вскрывается двумя вертикальными стволами – «Южным Вентиляционным» и «Клетевым» – диаметром в свету 7 и 8 м, соответственно. Вмещающий горный массив приустьевой части стволов представлен глинисто-гравийно-галечными

* Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ №14-05-00324

отложениями с чередованием гравийно-галечно-валунных и прослоями линз кварц-железистых и кремнистых пород мощностью до 30 – 40 см по стволу «Южный Вентиляционный» до глубины 106 м, а по стволу «Клетевой» до глубины 132 м. В целом строение осадочного массива однородное и изотропное. Крепость пород по шкале Протодьяконова повсеместно не превышает 0,5 – 1,0. Подстилающая скальная породная толща представлена устойчивыми базальтовыми порфиритами. Неблагоприятной особенностью горно-геологических условий проходки явились высокие притоки подземных вод, достигающие на стволе «Клетевой» 150 м³/ч, а на стволе «Южный Вентиляционный» 81 – 94 м³/ч.

Проходка стволов осуществляется по совмещенной технологической схеме с креплением монолитным бетоном марки М 350 (класс В 25), а приустьевых участков, вплоть до коренных пород – железобетоном той же марки с двурядной стальной арматурой периодического профиля диаметром 12 и 25 мм. Проектная толщина монолитной железобетонной крепи на обоих стволах составляла 600 мм, но фактически, из-за вывалов, была еще больше. Согласно «традиционным» геомеханическим расчетам это давало более чем 10-кратный запас прочности на максимально возможные амплитуды геодинамических подвижек подстилающего скального массива и более чем 100-кратный на давление (боковой распор) от собственного веса налегающих пород.

Однако, несмотря на беспрецедентно большую толщину железобетонной крепи, в процессе проходки ствола «Южный Вентиляционный» на интервале глубин 40 – 52 м возникли две вертикальные разрывные трещины, проходящие вдоль диаметрально противоположных стенок крепи по азимутам 155° и 335° на протяжении 12 м с максимальным раскрытием 2 мм (рис. 1). Последующими инструментальными наблюдениями зафиксированы квазипериодические изменения раскрытия трещин с амплитудой до 1 мм, что указывало на их геодинамическую природу. При этом склерометрическим обследованием поверхности крепи прибором «Beton CONDROL», согласно ГОСТ 22690-88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» было подтверждено соответствие прочности бетона на данном участке ствола проектному классу В 25 и требованиям СНиП 3.02.03-84 и СНиП 11-94-80.



Рис. 1 – Вертикальная трещина в железобетонной крепи ствола «Южный Вентиляционный» в интервале глубин 40 – 52 м

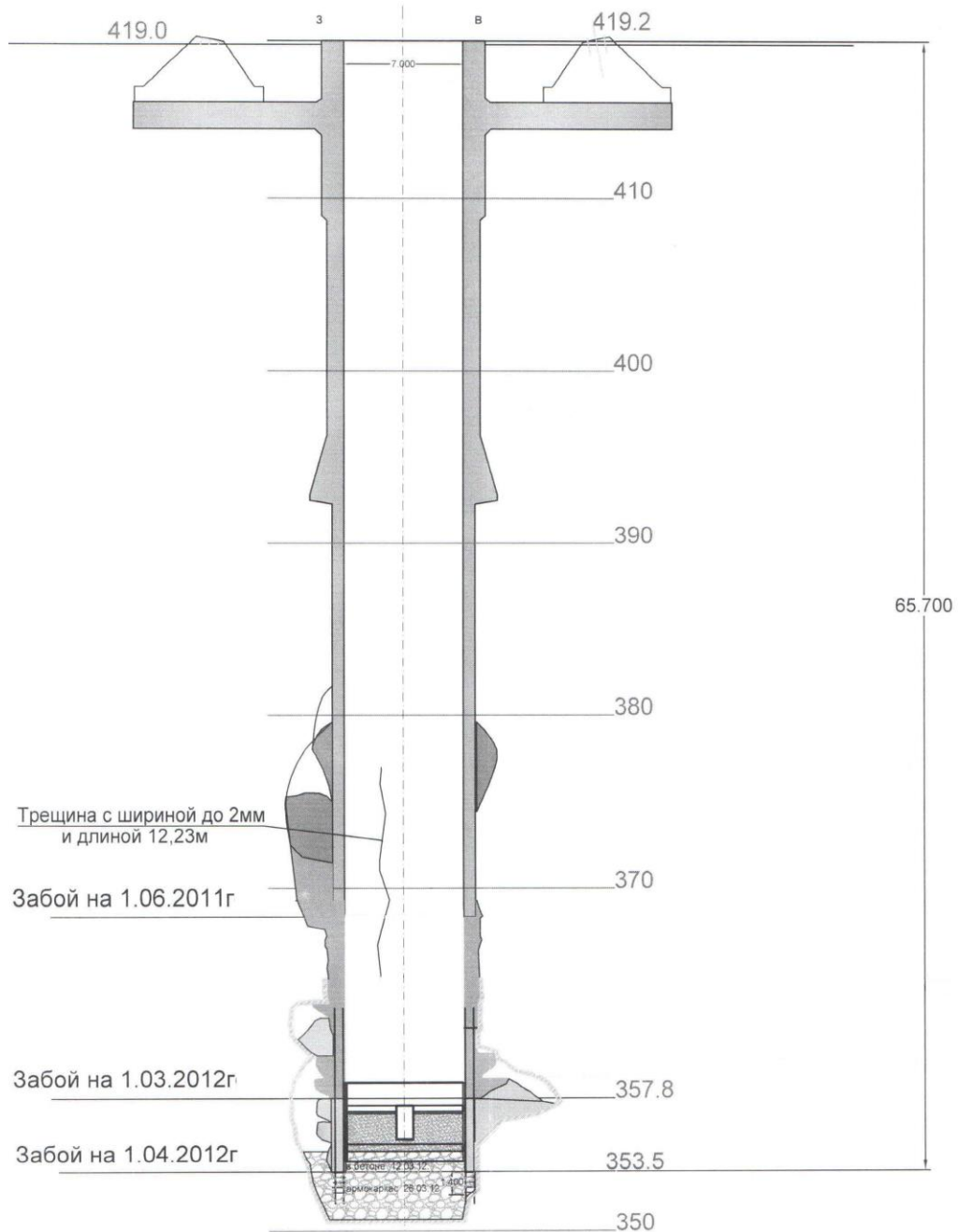


Рис. 2 – Вертикальное сечение ствола «Южный Вентиляционный» с местами произошедших вывалов закрепного пространства и трещинообразований в железобетонной крепи

Анализ натуральных данных о состоянии забоя и породных стенок ствола «Южный Вентиляционный», фиксируемых в журнале проходки, показал, что начиная с глубины 40 м практически непрерывно происходили разрушения, вывалы и вымывания призабойного массива (рис. 2). Ширина вывалов достигала 4 – 6 м, а глубина 3 – 3,6 м (считая от проектного периметра ствола в черне). При этом вывалы развивались в основном в восточно-северо-восточном и западно-юго-западном направлениях, т. е. ортогонально положению разрывных трещин в стенках ствола (рис. 3, а).

Аналогичные массовые вывалы зафиксированы и по соседнему стволу «Клетевой» (рис. 3, б). Там их преобладающие направления оказались выражены менее отчетливо, чем на стволе «Южный Вентиляционный», однако при суммировании в «розу вывалов» (рис. 4) прослеживалась сходная направленность. Это указывало на общий для обоих стволов генезис вывалообразований.

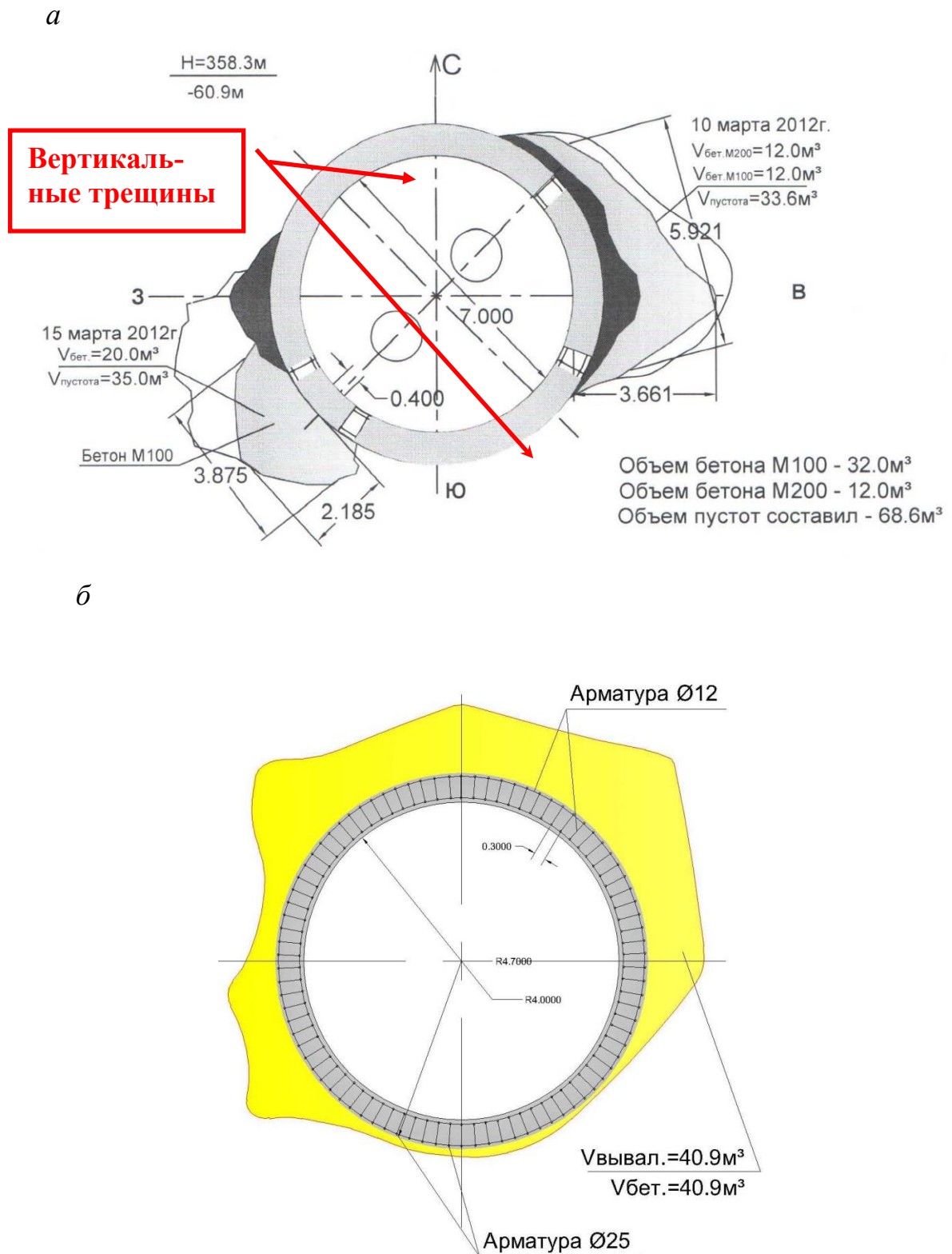


Рис. 3 – Контуры вывалов призабойного массива на глубинах более 40 м в поперечных сечениях стволов: *a* – «Южный Вентиляционный»; *б* – «Клетевой»

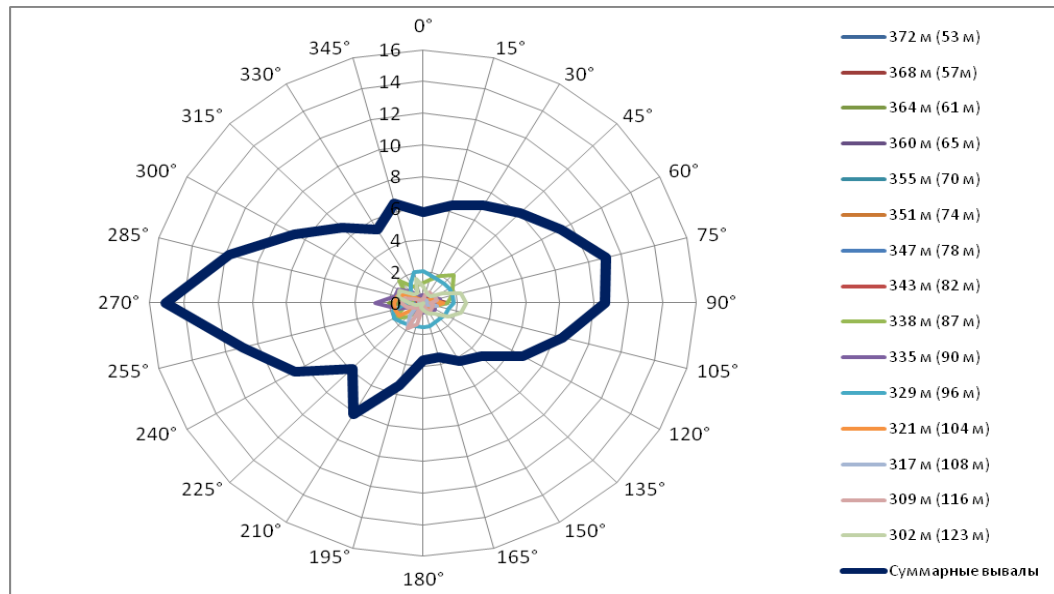
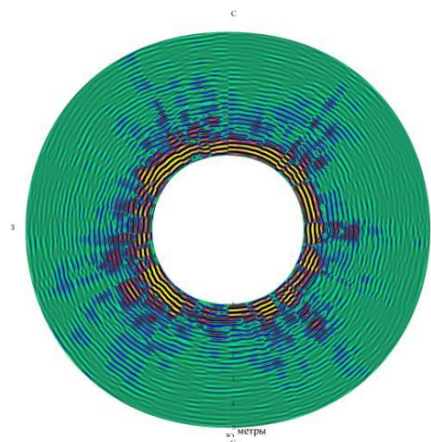


Рис. 4 – Суммарная «роза вывалов» призабойного массива ствола «Клетевой»

Вместе с тем, несмотря на выраженную неравномерность вывалов, обследования окружающего горного массива методами спектрального сейсмопрофилирования и георадарного зондирования не выявили существенной анизотропии геофизических свойств песчано-глинистой толщи вмещающих пород как на участке массовых вывалов и трещинообразования, так и вблизи забоя ствола (рис. 5).

а



б

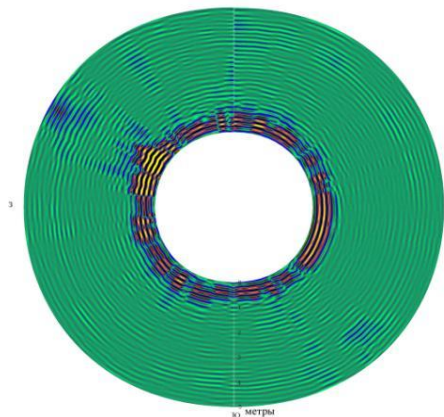


Рис. 5 – Георадарные разрезы приконтурного (на глубину 5 м от контура крепи) породного массива в поперечных сечениях ствола «Южный Вентиляционный»:

а – на участке вертикальных трещин крепи на глубине 52 м; *б* – у забоя ствола на глубине 66 м

В итоге, на основании полученных натуральных данных, был сделан вывод, что первопричиной разрывов крепи ствола явилась анизотропия напряженно-деформированного состояния подстилающей толщи скальных пород, обусловленная современной геодинамической активностью района. Азимут оси максимальных сжимающих напряжений скального массива при этом соответствовал азимутам разрывов крепи, т. е. был около 155 или 335° .

По мере проходки ствола в условиях совместности деформаций окружающего горного массива анизотропия напряженного состояния подстилающей скальной толщи передавалась на литологически однородную и изотропную песчано-глинистую толщу покровных отложений. Это и обусловило вывалы и вымывания ортогональных, относительно направления максимального сжатия, призабойных стенок ствола. Непосредственной же причиной разрывов бетона явились горизонтальные растягивающие напряжения, сформировавшиеся вследствие неравномерности нагружения бетонных колец крепи вблизи забоя. В результате, вследствие упругих деформаций и конвергенции породных стенок ствола, которые неизбежно происходили, несмотря на оперативное бетонирование породных вывалов, призабойные кольца крепи вместо требуемого всестороннего сжатия оказывались в условиях одноосного, и, как закономерное следствие, на их внутренней поверхности возникали горизонтальные разрывные нагрузки. Кроме формы и расположения трещин и их согласованности с ориентировкой породных вывалов, данный вывод подтверждает место и время возникновения трещин. Неслучайно очаг трещинообразования оказался приурочен к последнему бетонному кольцу, возведенному вплотную к остановленному в 2011 г. забюю (см. рис. 2). Проходка была возобновлена лишь спустя 8 месяцев, в течение которых бетон на данном участке в значительной степени набрал хрупкость и утратил пластические свойства, которые в противном случае позволили бы ему разгрузиться и благополучно «уходить» от разрушающих напряжений, возникающих от горизонтальных смещений породных стенок ствола по мере уходов забоя.

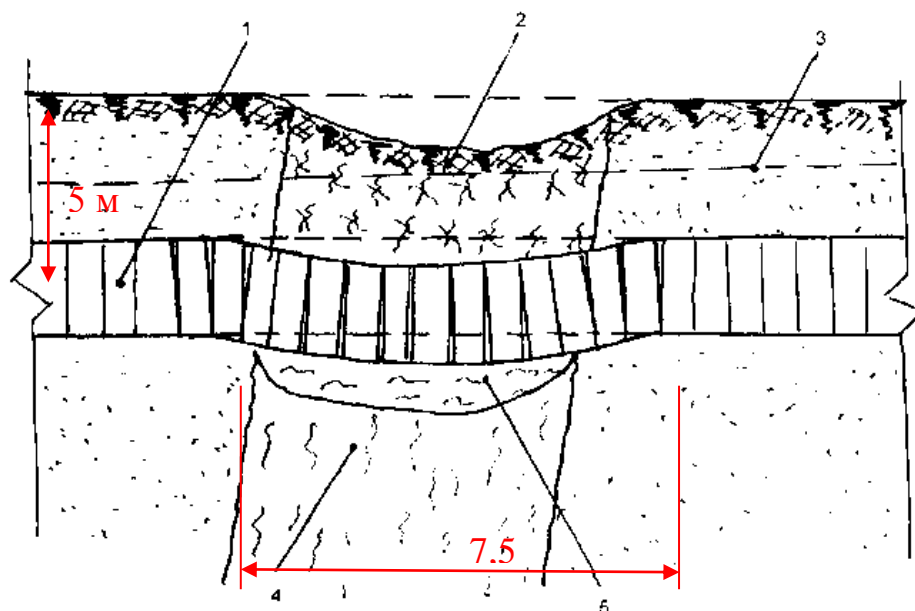


Рис. 6 – Схема разрушения подземного канализационного коллектора в г. Сургут:

- 1 – железобетонные секции канализационного коллектора;
- 2 – воронка карстообразного обрушения песчано-глинистого грунта; 3 – уровень грунтовых вод;
- 4 – зона проявления активного тектонического разлома в песчано-глинистой покровной толще;
- 5 – зона суффозионного выноса песчано-глинистого грунта внутрь коллектора

Сходный механизм был выявлен у аварийного разрушения канализационного коллектора в городе Сургут в 2000 г. Аварийные участки коллектора оказались приурочены к геодинамически активным разломным структурам, прорезающим двухкилометровую толщу рыхлых осадочных пород [2]. Сами по себе геодинамические подвижки, замеренные амплитуды которых по деформациям растяжения не превышали 1×10^{-3} , а по наклонам 2×10^{-3} , не представляли опасности для устойчивости двухслойной крепи коллектора: сборных железобетонных колец с внутренней обделкой из монолитного железобетона марки М 300, армированного ненапряженной сеточной арматурой класса А-1 диаметром 8 мм. Однако непрерывность их действия в местах пересечения коллектора с активными тектоническими зонами спровоцировала в железобетоне трещинообразование, которое в условиях гидростатического напора грунтовых вод привело к вымыванию песка из-под колонны внутрь коллектора с последующим провисанием и обрывом всей конструкции на пролете 7,5 м (рис. 6) под собственным весом и нагрузкой от 5-метровой толщи покрывающего грунта.

Из вышеизложенного комплекса натуральных данных вытекают следующие практические выводы:

1. Покровные отложения рыхлых осадочных пород повсеместно находятся в условиях совместной деформации с подстилающим массивом скальных пород. Вследствие этого они воспринимают все те современные геодинамические процессы, которые действуют в подстилающем скальном массиве, включая коротко- и длиннопериодные тектонические подвижки и связанные с ними анизотропию и изменчивость горизонтальных напряжений.

2. При расчетах устойчивых параметров подземных сооружений в рыхлых покровных отложениях фактор современной геодинамики следует принимать во внимание, учитывая при этом не только и не столько абсолютную величину напряжений и деформаций, сколько их влияние на механизм нагружения крепи при изменениях напряженно-деформированного состояния и свойств вмещающего породного массива в процессе проходки и эксплуатации выработки.

Литература

1. Зубков А.В. Напряженное состояние верхней части земной коры Урала и тектоническое развитие региона / А. В. Зубков, Я. И. Липин, А. Н. Гуляев // ФТПРПИ. – 1996. – № 4. – С. 61 – 20.
2. Панжин А. А. Исследование короткопериодных деформаций разломных зон верхней части земной коры с применением систем спутниковой геодезии / А. А. Панжин // Маркшейдерия и недропользование. – 2003. – № 2(8). – С. 43 – 54.