

УДК 622.847

**Далатказин Тимур Шавкатович**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории сдвижения горных пород,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Харисов Тимур Фаритович**  
младший научный сотрудник  
лаборатории геомеханики  
подземных сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [timur-ne@mail.ru](mailto:timur-ne@mail.ru)

### ПРОГНОЗНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАТОПЛЕНИЯ ТУРЬИНСКОГО МЕДНОГО РУДНИКА

#### Аннотация:

Представлены результаты прогнозных инженерно-геологических исследований последствий затопления при консервации Турьинского медного рудника (территориально совпадающего с инфраструктурой г. Краснотурьинска).

Рассмотрены факторы, определяющие параметры процесса затопления и его последствия, определена эмпирическая зависимость уровня подземных вод при восстановлении предельного уровня от времени. Разработана система дренажа при консервации рудника. Выполнены расчеты прогнозных границ зон ожидаемых опасных деформаций и границ выхода обрушений на поверхность.

**Ключевые слова:** шахта, водоотлив, затопление, уровень подземных вод, подтопление, система дренажа, сдвижение горных пород, опасные деформации, провал

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.067

**Dalatkazin Timur Sh.**  
candidate of technical sciences,  
senior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS,  
620075, Yekaterinburg,  
58, Mamin-Sibiryak st.  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Kharisov Timur F.**  
junior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS  
e-mail: [Timur-ne@mail.ru](mailto:Timur-ne@mail.ru)

### EXPECTED RESEARCHES OF THE CONSEQUENCES OF THE COPPER MINE FLOODING

#### Abstract:

The results of researches of expected engineering-geological of consequences of flooding the Tur'yinsky copper mine at its preservation which is territorially coinciding with infrastructure of Krasnoturyinsk are presented.

The factors determining parameters of the flooding process and its consequence are considered, empirical dependence of underground waters level at restoration from time is defined. The system of drainage at preservation the mine is developed. Calculations of expected zones' borders of expected dangerous deformations and borders of an exit of collapse to a surface are executed.

**Key words:** mine, water outflow, flooding, level of underground waters, flooding, system of a drainage, displacement of rocks, dangerous deformations, failure

#### Введение

Добыча руды на Турьинском медном руднике велась с конца 18 века. Разрушение крепи вспомогательного ствола шахты им. С.М. Кирова и обрушение устья ствола в выработку в 2014 г. вызвало повреждение коммуникаций, в том числе шахтного водоотлива, по которому велась откачка подземных вод. Исходя из экономической целесообразности было принято решение о консервации рудника [1, 2].

Опыт затопления шахт на Урале, в Кузбассе и на Донбассе показывает, что этот процесс вызывает негативные гидрогеологические, инженерно-геологические и экологические последствия: излив шахтных вод на поверхность, подтопление земель, вымывание нетвердеющих закладочных материалов, активизацию процесса сдвижения на подработанных участках, снижение прочностных свойств горных пород вследствие увлажнения, набухание и морозное пучение глинистых грунтов и т. д. [3]. На селитебных территориях происходит затопление подвалов зданий и подземных коммуникаций [4].

Все это актуально для Турьинского медного рудника, расположенного на территории г. Краснотурьинска.

Турьинская группа скарновых меднорудных месторождений объединяет Фроловское, Николо-Подгорное, Ново-Фроловское, Никитинское, Ново-Никитинское, Вадимо-Александровское, Башмаковское, Богословское, Успенское, Москалевское месторождения. Фроловское, Николо-Подгорное и Вадимо-Александровское месторождения соединены горизонтальными подземными выработками – гиперпроводящими каналами, которые объединяют их в единое гидравлическое пространство.

Горный вмещающий массив сложен силурийскими и девонскими образованиями, представленными в основании туфогенными породами с небольшими прослоями известняков, а выше известняками фроловско-васильевской толщи, перекрытыми туфами.

Эта толща прорвана интрузиями диоритового состава и многочисленными жильными образованиями. Известняки на контактах с интрузиями метаморфизованы и часто замещены скарнами. В восточной части месторождения известняки выходят на поверхность и сильно закарстованы. В пределах Турьинского медного рудника отмечаются тектонические нарушения субмеридионального и субширотного простирания. С поверхности вмещающий массив перекрыт глинами древней коры выветривания и четвертичными глинами общей мощностью 60 – 70 м.

Гидрогеологические условия месторождений простые благодаря мощной толщине покровных глинистых отложений, водораздельному положению месторождения (расположено на водоразделе рек Турьи и Каквы) и слабой трещиноватости горных пород – коэффициент фильтрации палеозойских пород изменяется в пределах 0,006 – 0,028 м/сут. Повышенная водоносность палеозойских пород отмечается только в зонах тектонических нарушений.

В результате шахтного водоотлива сформировалась единая депрессионная воронка протяженностью 4 км в меридиональном направлении и ширине 1,7 км при глубине шахты «Капитальная» 310 м.

Региональный модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов подземного стока для этого района составляет 0,5 – 1,0 л/сек на 1 км<sup>2</sup>.

По сложности при затоплении Турьинский рудник относится к простой группе [5].

Прогнозные исследования последствий ликвидации Турьинского медного рудника выполнялись с позиций синергетики: исследования имели междисциплинарный характер, а горный массив рассматривался как открытая, самоорганизующаяся, многофакторная система.

Исследования заключались в анализе и обобщении материалов предшествующих геологических и гидрогеологических исследований массива Турьинского медного рудника, опыта затопления подземных рудников на Урале и результатов мониторинга уровня подземных вод в стволе шахты «Капитальная» после остановки водоотлива. Выполнены расчеты прогнозных границ зон ожидаемых опасных деформаций и границ выхода обрушений на поверхность.

При выполнении исследований выявилось отсутствие полной информации об объемах и распределении в пространстве горных выработок.

В условиях горноскладчатого Урала скорость восстановления уровня подземных вод при прекращении шахтного водоотлива, а также конфигурация и предельное положение восстановленного уровня, вследствие нарушения сплошности массива горных пород и его фильтрационного сопротивления, а следовательно, и его дренированности, прогнозируется гидродинамическими (численными) методами крайне приближенно. В то же время использование для гидродинамических прогнозов фактических данных по темпу восстановления уровня, зарегистрированных в реальных геотехногенных условиях, зарекомендовало себя как продуктивное [6, 7]. Особенно это актуально при отсутствии полной информации об объемах выработанного пространства на Турьинском медном руднике.

### Исходные данные и методы исследования

Прогноз времени затопления рудника выполнялся на основе данных мониторинга уровня подземных вод в стволе шахты «Капитальная» после остановки водоотлива, теоретических основ, опыта прогнозирования при затоплении подземных рудников на Среднем Урале.

Анализ системы отработки рудника и результатов мониторинга подъема уровня воды в стволе шахты «Капитальная» после полной остановки водоотлива (рис. 1) показал, что горные выработки действуют как саморегулирующийся геотехногенный дренажный узел.

Скорость и алгоритм затопления Турьинского рудника формировались в соответствии с комплексом факторов:

- *Массив месторождения* характеризуется низкой водообильностью горных пород: среднемноголетнее значение водопритоков составляет  $186 \text{ м}^3/\text{час}$ , региональный модуль подземного стока составляет  $0,5 - 1,0 \text{ л/с км}^2$  [5].

- *Градиент напора*. Высокие значения градиента напора подземного потока определяются низкими фильтрационными характеристиками ( $K_f = 0,006 - 0,028 \text{ м/сут}$ ) горного массива. По мере заполнения депрессионной воронки напорный градиент снижается.

- *Тектоническая структура горного массива*. Структура горного массива рудного поля характеризуется преобладанием тектонических нарушений восточно-северо-восточного и широтного простирания вкост горизонтальных выработок, имеющих в основном субмеридиональную ориентировку. Горные выработки перехватывают поток подземных вод, мигрирующих по тектоническим нарушениям, что увеличивает темп затопления рудника.

- *Конструктивные особенности системы отработки*, объем и пространственное расположение выработанного пространства. Информация об объемах выработанного пространства Турьинского рудника в целом отсутствует.

- *Вертикальная зональность по степени трещиноватости*. Из опыта эксплуатационных работ повышенные трещиноватость и закарстованность пород отмечаются до глубины 200 м. Поэтому темп затопления по достижении глубины 200 м в связи с расходом воды на заполнение приращенного объема трещин и карстовых пустот должен снижаться. Кроме того, вертикальная зональность по степени трещиноватости влияет на величину водопритоков. При отработке месторождения водопритоки возрастали до глубины 200 м, а при дальнейшем увеличении глубины горных работ стабилизировались. Следовательно, при затоплении, по мере подъема уровня подземных вод (УПВ) выше глубины 200 м, объемы водопритока должны уменьшаться.

- *Зональность по положению относительно поверхности дренирования*. Процесс заполнения водой подземных горных выработок делится на два этапа, соответствующих в разрезе двум гидродинамическим зонам. Граница между зонами определяется положением местной поверхности дренирования, которая для горного массива Турьинского медного рудника имеет абсолютную отметку +158 м. Горные выработки, расположенные ниже поверхности дренирования, заполняются водой пропорционально объему дренажного водоотлива. Здесь работают все источники формирования, которые были вовлечены в результате длительных дренажных мероприятий; градиенты напора, обеспечивающие движение подземных вод к горным выработкам, максимальные. Темпы затопления здесь определяются снижением градиентов напора.

В горных выработках, расположенных выше поверхности дренирования, темп подъема уровня воды при затоплении снижается, что определяется исключением инфильтрации речного транзитного стока [8].

- *Влияние паводка на режим водопритоков* в горные выработки Турьинского рудника. Рыхлые породы зоны аэрации на Северном Урале вступают в зиму увлажненными

и при промерзании становятся водонепроницаемыми. Мерзлота сохраняется до середины июня. Поэтому талые воды, казалось бы, не имеют особого значения в питании подземных вод. Однако наличие участков на поверхности с интенсивным развитием техногенной трещиноватости позволяет предполагать все же наличие паводковой составляющей в структуре водопритока при затоплении.

• *Влияние дренирования подземных вод в зонах истечения.* Прогнозируется снижение темпов затопления Турьинского медного рудника после начала истечения вод через борт провала Николо-Подгорного месторождения (см. рис. 1). Провал Николо-Подгорного месторождения имеет гидравлическую связь с выработками Фроловского и Вадимо-Александровского месторождения через квершлаг. Вода в провале появилась в конце марта 2017 г. Уровень воды в провале увеличивается. В мае 2017 г. скорость подъема уровня воды в стволе шахты «Капитальная» и в Николо-Подгорном провале составила  $0,08 \div 0,1$  м/сут.



Рис. 1 – Провал Николо-Подгорного месторождения по состоянию на 24.05.2017. Глубина воды в провале около 3 м. Фотография выполнена В. П. Драсковым

Фроловская штольня тупиковая: она не сбита с выработками рудника. Значительные объемы дренирования из штольни и заметное влияние на скорость затопления Турьинского рудника маловероятны.

По результатам мониторинга в стволе шахты «Капитальная» при затоплении (рис. 2) определена закономерность подъема УПВ во времени:

$$H = 0,4904T + 67,51 ,$$

где  $H$  – подъем УПВ от начала затопления, м;

$T$  – время, сут.

При коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,9438$ .

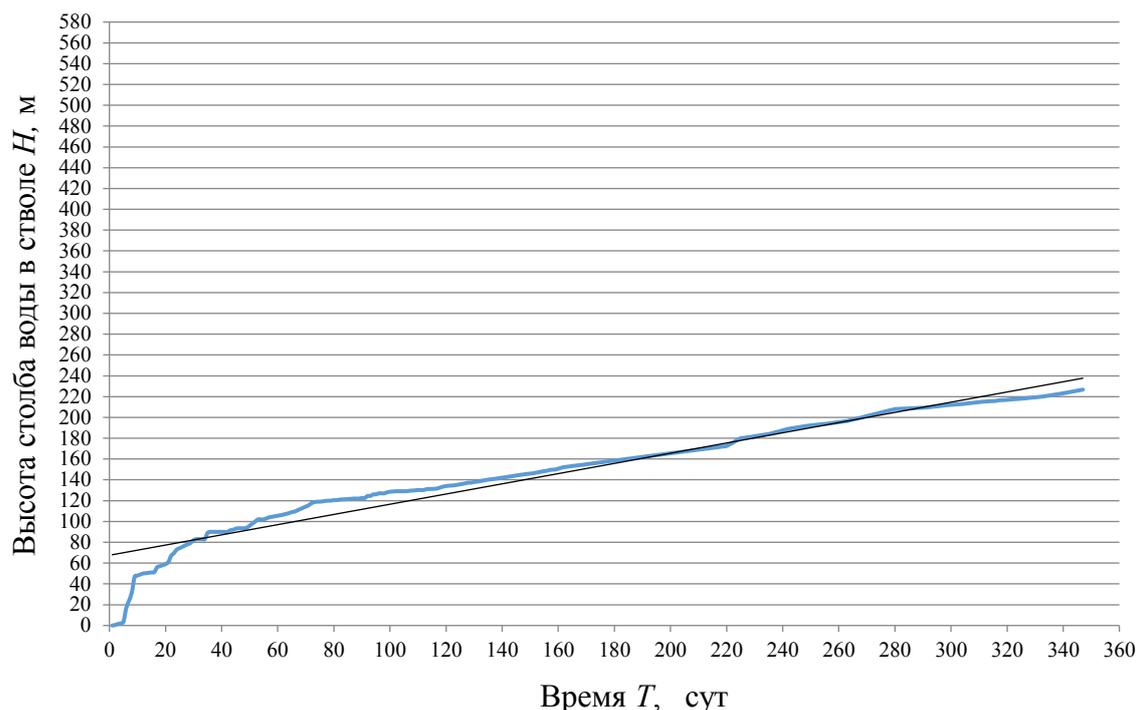


Рис. 2 – Результаты мониторинга изменения уровня воды в стволе шахты «Капитальная» при затоплении в период с 07.04.2014 по 19.03.2015

На территории влияния горных работ Турьинского медного рудника ожидается превышение предельного уровня подземных вод над его естественным положением, что может привести к подтоплению части территории. Подтопление обусловлено превышением приходных статей водного баланса над расходными под влиянием комплекса природных и техногенных факторов. По данным Л.С. Рыбниковой, оценочные аналитические расчеты для условий Урала показывают, что величина превышения предельного уровня подземных вод над его естественным положением составляет 1 – 5 м. Причины этого явления следующие:

1. Увеличение модуля подземного стока за счет интенсификации инфильтрации атмосферных осадков в трещиноватую водоносную зону вулканогенно-осадочных палеозойских пород в пределах подработанной территории, что определяется техногенной проницаемостью зоны аэрации.

2. Наличие гиперпроводящих зон. Соединенные между собой горизонтальные и вертикальные выработки Турьинского рудника при затоплении являются гиперпроводящими каналами, создающими единое гидравлическое пространство с общей водной поверхностью (рис. 3). В данное пространство попадают отработанные Фроловское, Николо-Подгорное, Вадимо-Александровское месторождения.

За счет градиента напора поверхность подземных вод в пределах исследуемого горного массива по окончании затопления рудника прогнозируется субгоризонтальной, с незначительным уклоном в сторону зоны истечения из провала Николо-Подгорного месторождения и главной естественной дрены территории – реки Турьи (см. рис. 3). В плане данная водная поверхность контролируется границами зоны сдвижения Турьинского медного рудника.

Хорошая связь квершлагом между Николо-Подгорным и Фроловским месторождениями должна обеспечить разгрузку воды через борт Николо-Подгорного провала. В этом случае уровень подземных вод незначительно превысит отметку его борта. Однако вероятен сценарий нарушения деревянной крепи в горизонтальных выработках, что вызовет обрушение породных стенок. На участках обрушения возможно формирование

скоплений мигрирующих с потоком деревянных элементов конструкции крепи. Здесь гиперпроводимость квершлага может резко уменьшиться, и уровень подземных вод в целом по руднику существенно превысит отметку борта Николо-Подгорного провала.

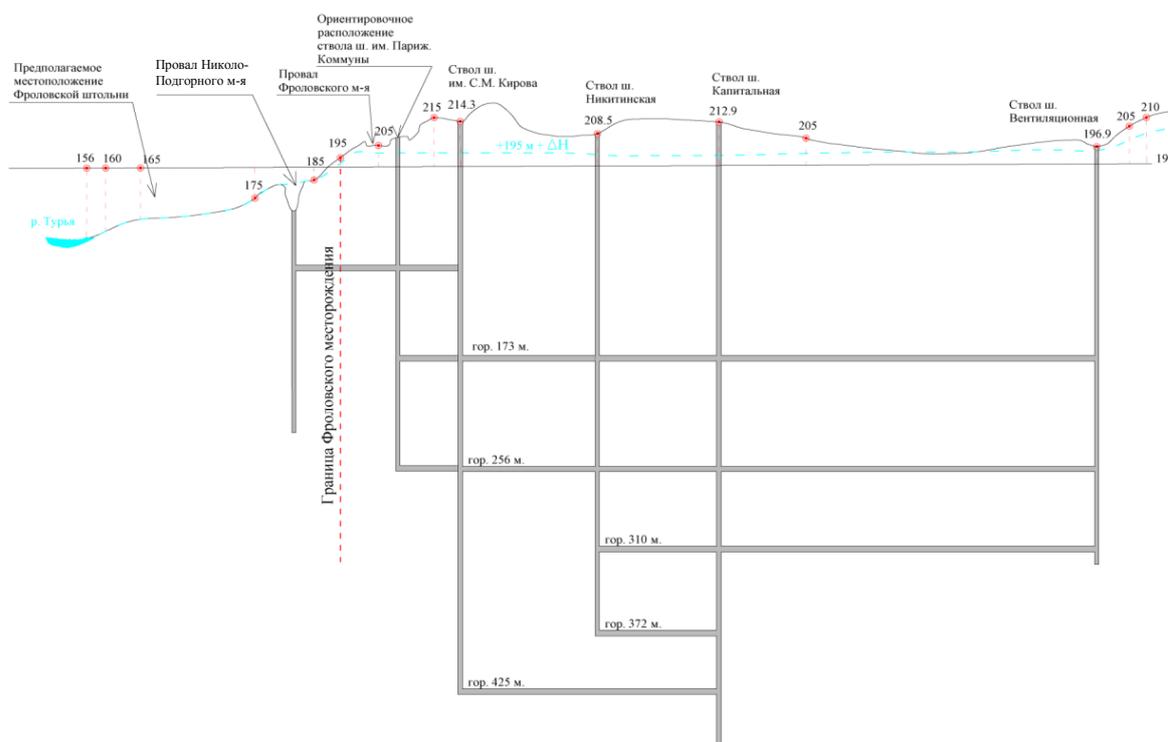


Рис. 3 – Прогнозная гидродинамическая модель Турьинского медного рудника после затопления

3. Увеличение площади водосбора. При разработке Турьинского рудника увеличение водопритоков происходило, главным образом, за счет площадного расширения горных работ.

Прогнозируется влияние увеличения площади водосбора в сочетании с наличием гиперпроводящих зон на повышение фактического предельного положения УПВ после окончания заполнения депрессионной воронки Турьинского рудника по сравнению с его естественным положением.

4. Структура горного массива Турьинского рудного поля характеризуется преобладанием тектонических нарушений восточно-северо-восточного и широтного простирания и простиранием горизонтальных выработок, в основном в субмеридиональном направлении. Это обеспечивает перехват потоков вод тектонических нарушений и увеличит вероятность превышения предельного положения УПВ после затопления рудника над естественным.

5. Подземные водонесущие коммуникации на территории Турьинского рудника и прилегающих к нему площадях имеют повышенные риски аварийности за счет процесса сдвижения. Утечки из водонесущих коммуникаций при порывах увеличивают вероятность подтопления.

В восточной части месторождения наблюдается выход известняков на поверхность. Почти по всей площади выхода известняки закарстованы с образованием двух крупных карстовых воронок с размером по  $150 \times 320$  м и при глубине развития карста до 110 – 120 м. В пределах зоны влияния горных работ при затоплении рудника могут проявиться следующие факторы техногенеза, вызывающие активизацию карстопроявлений:

- активизация современной геодинамической активности тектонических нарушений, что вызовет повышение водопроницаемости и дезинтеграцию покровных отложений;
- изменение гидродинамических условий за счет восстановления предельного уровня подземных вод;
- утечка из городских коммуникаций и увеличение поверхностного стока за счет процесса сдвижения, что повысит агрессивность и интенсивность потока подземных вод [8];
- растворение продуктов окисления сульфидов, длительное время находившихся в техногенной зоне аэрации и гидролиз сульфатов в подземных водах, за счет чего возрастает концентрация  $H^+$ , показатель рН снизится, что приведет к повышению агрессивности подземных вод. Нейтрализация кислых вод известняками может быть одним из факторов активизации процесса карстообразования.

В настоящее время на подработанных участках Турьинского рудного поля, расположенных на селитебных территориях пос. Медная шахта (рис. 4), входящих в состав г. Краснотурьинска, существуют следующие провалы:

- провал Николо-Подгорного месторождения (максимальная глубина составляет 15 м);
- два провала на Фроловском месторождении (максимальные глубины составляют 20 и 4 м);
- провал на Аномалии №1 Вадимо-Александровского месторождения (максимальная глубина провала составляет 50 м).

При затоплении замачивание горных пород вмещающего массива вызовет активизацию и в ряде случаев возобновление процесса сдвижения в пределах, уже стабилизировавшихся до затопления зон. Ожидается активизация процессов карстообразования в известняках. В отработанных камерах прогнозируется суффозия закладочного материала [9].

Прогнозная оценка влияния процессов сдвижения горных пород на окружающую промышленную и социальную инфраструктуру, а также на природные объекты осуществлялась в пределах территории, которая может подвергнуться влиянию опасных сдвижений и деформаций. В ходе исследований выполнены расчеты прогнозных границ зон ожидаемых опасных деформаций и границ выхода обрушений на поверхность.

Активизация процесса сдвижения после начала затопления рудника определена методом анализа геологических материалов, параметров подземных горных выработок, применяемых технологий отработки. Угол сдвижения для горного массива Турьинского рудника в коренных породах составляет  $70^\circ$ , угол сдвижения в наносах составляет  $45^\circ$  [10].

Зона ожидаемых опасных деформаций на Вадимо-Александровском, Фроловском и Николо-Подгорном месторождениях отображена на плане поверхности (см. рис. 4), где также отмечены потенциально опасные зоны возможного выхода обрушения на земную поверхность в случае подъема уровня подземных вод. Она простирается в субширотном направлении от провала Аномалии № 1 до левого берега реки Турья, охватывая селитебные территории северной части поселка Медная шахта.

В процессе затопления рудника особое внимание следует уделить потенциально опасным участкам вблизи провалов на Фроловском и Вадимо-Александровском месторождениях и участку вблизи ствола шахты «Капитальная».

Для обеспечения безопасной жизнедеятельности на территориях, попадающих в зоны деформационных процессов при ликвидации Турьинского медного рудника, необходимо создать систему контроля деформационного состояния массива горных пород с целью обеспечения своевременного предупреждения о приближении критических состояний, а также получения пространственно-временных характеристик процесса деформирования.

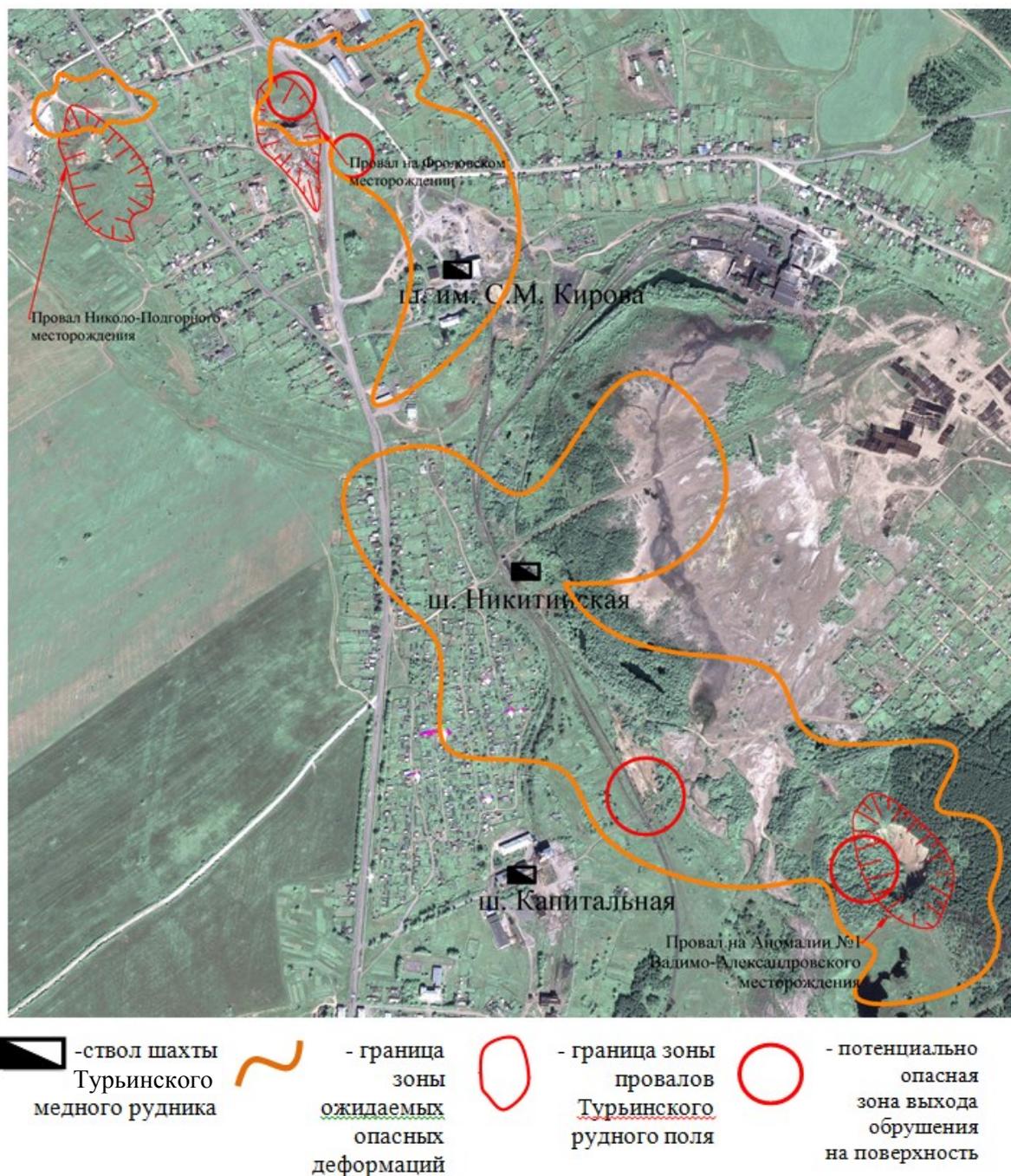


Рис. 4 – План поверхности Турьинского медного рудника и прилегающих территорий

### Заключение

Анализ формирования возможных негативных процессов при консервации Турьинского рудника показывает, что все они многофакторны, но связаны с гидрогеологическими особенностями горного массива – природными и техногенными. Многофакторность и ограниченность информации существенно снижает точность прогнозов, что в условиях селитебной территории определяет обязательность мониторинга геологической среды. В настоящий момент система мониторинга опасных природных процессов на поверхности Турьинского медного рудника отсутствует.

### Литература

1. Харисов Т.Ф. Особенности ликвидации ствола шахты им. С.М. Кирова Турьинского медного рудника / Т.Ф. Харисов, А.Л. Замятин, А.С. Ведерников // Проблемы недропользования. - 2015. - № 2 (5). - С. 19 - 24.
2. Харисов Т.Ф. Инженерно-геофизические исследования при ликвидации ствола шахты им. С.М. Кирова Турьинского медного рудника / Т.Ф. Харисов, А.Л. Замятин, А.С. Ведерников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. - № 3. - С. 350 - 357.
3. Проблемы безопасности при ликвидации горнодобывающих предприятий / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, С.В. Усанов, А.Е. Балек // Проблемы недропользования. - 2014. - № 3. - С. 60 - 65.
4. Елохина С.Н. Прогноз гидродинамических последствий затопления подземных горных выработок в условиях недостаточности гидрогеологической информации / С.Н. Елохина // Сергеевские чтения. Вып. 4: матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. - М.: Изд-во «ГЕОС», 2002. - С. 361 - 364.
5. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал / под ред. В.Ф. Прейса. - М.: Недра, 1972. - 648 с.
6. Елохина С.Н. К методике прогноза скорости затопления подземных горных выработок / С.Н. Елохина, Л.Д. Футорянский // Известия Уральской государственной горно-геологической академии. Вып. 15. Серия: Геология и геофизика. - Екатеринбург, 2002. - С. 227 - 231.
7. Елохина С.Н. Исследование геоэкологических последствий самозатопления шахтных полей / С.Н. Елохина // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. - 2004. - № 5. - С. 405 - 414.
8. Мельник В.В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопоявлений при недропользовании: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Мельник; Институт горного дела УрО РАН. - Екатеринбург, 2010. - С. 10.
9. Сашурин А.Д. Механизм формирования аварийных ситуаций различного масштаба вследствие современных геодинамических движений / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин // Черная металлургия. - 2017. - № 1 (1405). - С. 21 - 25.
10. Надеин А.Г. Турьинский медный рудник / А.Г. Надеин // Материалы научно-практической конференции, посвященной 150-летию Евграфа Степановича Федорова. - Красноуральск, 2004. - С. 24 - 25.
11. Усанов С.В. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № S11. - С. 260 - 266.
12. Усанов С.В. Деформационные процессы при строительстве тоннелей метрополитена в Екатеринбурге / С.В. Усанов, Ю.П. Коновалова // Горный информационно-аналитический бюллетень - 2013. - № 6. - С. 142 - 144.
13. Далатказин Т.Ш. Диагностика современной геодинамической активности горного массива при строительстве и эксплуатации ответственных объектов / Т.Ш. Далатказин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2005. - № 11. - С. 120 - 123.