

---

---

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ  
ПРОЦЕССЫ

---

---

УДК 624.131.1:551.252

**ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СОЛИКАМСКИХ РУДНИКОВ  
ПЕРМСКОГО КРАЯ ПО УСЛОВИЯМ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ  
ЗАЛЕЖИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

© 2018 г. Ю.А. Мамаев, А.А. Ястребов

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
Уланский пер., д.13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: tataev47ya@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.02.2017 г.

После исправления 26.04.2017 г.

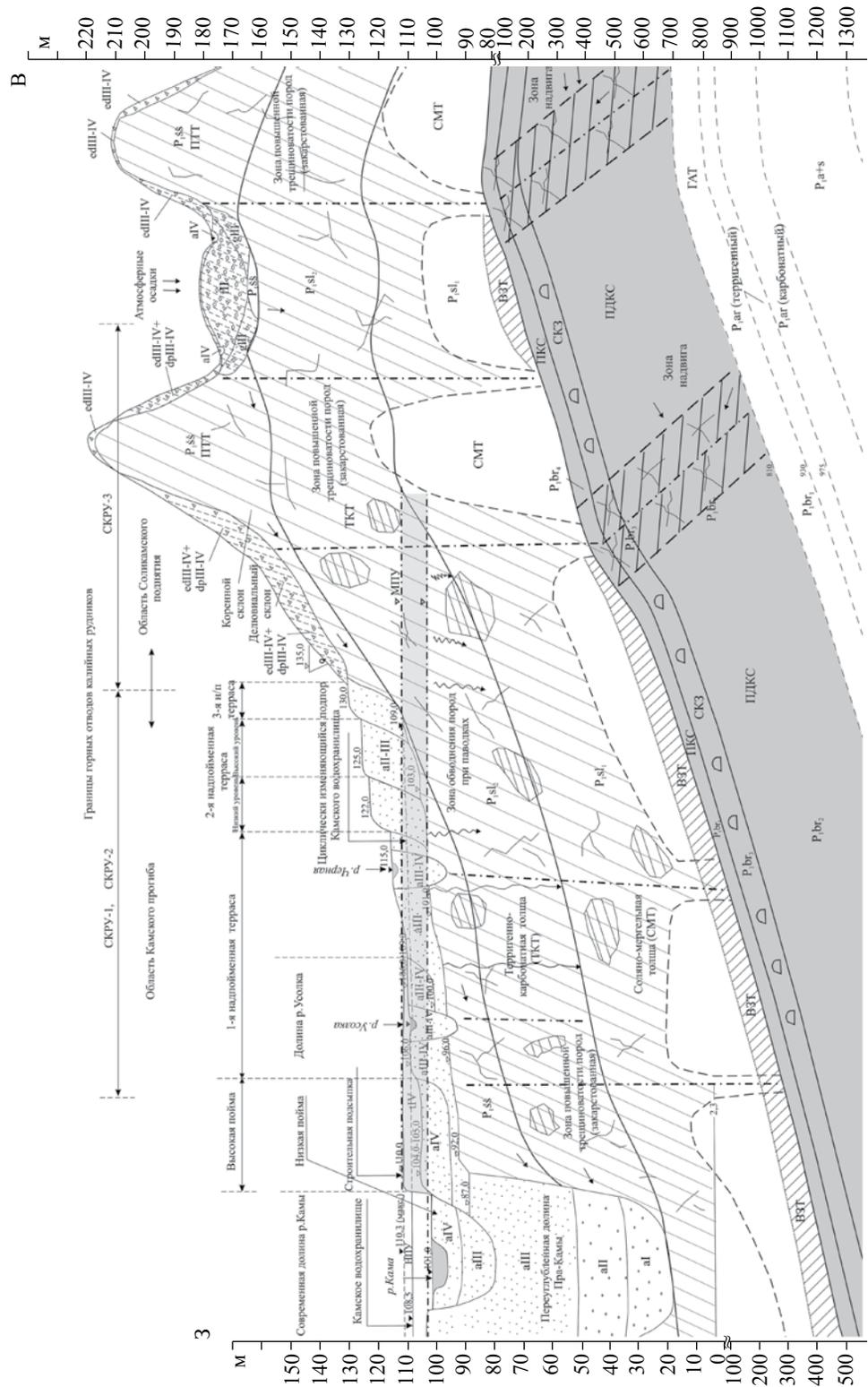
Статья посвящена оценке геологических условий и прогнозу развития опасных техноприродных процессов на подработанных территориях г. Соликамска и прилегающих районов, расположенных в центре самой большой в РФ залежи калийных солей. На основе инженерно-геологической интерпретации результатов геологических работ, инженерных изысканий, комплексных мониторинговых наблюдений и исследований в горных выработках, а также на земной поверхности составлена карта-схема зонирования территории рудников по условиям подземной отработки залежи калийных солей с выявлением природных рискообразующих факторов и установлением зон проявления и видов опасных геологических процессов, оказывающих влияние на ведение подземных горных работ.

**Ключевые слова:** калийная залежь, техноприродные процессы, рискообразующие факторы, аномальные зоны, соляная толща.

Территория Соликамских калийных рудников Пермского края РФ расположена в пределах Предуральяского краевого прогиба в центре крупнейшего в РФ Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Калийная залежь общей мощностью от 60 до 150 м залегает здесь на глубинах от 140 до 300 м под переслаивающимися породами терригенной, карбонатной и галогенной формаций нижнепермского возраста, мощность которых изменяется от 60 до 300 м. Особенности геологического строения исследуемой территории приведены на рис. 1. Территория характеризуется сложной разноуровневой разломно-блоковой структурой массивов коренных пород и высокой категорией сложности по инженерно-геологическим условиям [1]. Здесь активно развиваются опасные геологические процессы: сейсмичность от 3 до 7 баллов по шкале MSK-64 [3], карст, суффозия, оседание и провалы поверхности земли, подтопление и затопление территорий, эрозия, экологические процессы и другие [4]. На рассматриваемой территории находятся действующие рудники с большими объемами выработанного подземного пространства, крупные промышленные предприятия с опасным производством и сложной инфраструктурой.

Здесь сформировались обширные участки оседания земной поверхности, а в 1995 и 2014 гг. произошли техногенные аварии. Последняя привела к образованию большого провала глубиной до 90 м с плановыми размерами в поперечнике 100x140 м. В настоящее время на рассматриваемой территории продолжают развиваться опасные геологические процессы: суффозионно-карстовые, солевого растворения и массопереноса, геодинамические и другие, на что указывают деформации земной поверхности, а также результаты комплексных мониторинговых исследований.

Цель научно-исследовательских работ на данном объекте – оценка геологических условий и прогноз развития опасных природно-техногенных процессов на территории г. Соликамск и прилегающих районов на основе инженерно-геологической интерпретации результатов геологических работ, инженерных изысканий и комплексных мониторинговых наблюдений, выполненных рядом ведущих уральских научных организаций (Горный институт УрО РАН, ОАО “Галургия”, Пермский государственный университет и др.) и ИГЭ РАН. Работы направлены на снижение опасности развития негативных



**Условные обозначения:**  
 Толщи горных пород: ПТТ - пестроцветная терригенная; ТКТ - терригенно-карбонатная; СМТ - соляно-мергельная; ПКС - соляно-мергельная, ПКС - покровной каменной соли; СКЗ - залежи калийных солей; ПДКС - подстилающей каменной соли; ВЗТ - водоэдактивная; ГАТ - глинисто-ангидридовая.

- Границы и уровни:**
- [Symbol] -стратиграфо-петрографические; [Symbol] -литолого-генетические; [Symbol] -зоны гипергенезиса; [Symbol] -зоны региональных надвигов;
  - [Symbol] -подлора Камского водохранилища (МПУ-максимально подпертый уровень); [Symbol] -тектонические нарушения;
  - [Symbol] -трещиноватость пород; [Symbol] -закарстованность пород; [Symbol] -подземные выработки; [Symbol] -направление фильтрации вод;

**Рис. 1.** Схематический инженерно-геологический разрез участка Соликамских калийных рудников.

процессов и минимизацию ущербов от возможных аварий на рудниках. Инженерно-геологические работы ИГЭ РАН позволяют существенно дополнить имеющиеся обширные и многоплановые геологические материалы по данному объекту новой информацией.

Одним из направлений инженерно-геологических работ на объекте было составление карты-схемы зонирования территории по условиям подземной отработки залежи калийных солей с учетом факторов и степени опасности развития природно-техногенных процессов. Данная схема может являться основой для накопления, обобщения, анализа комплексных данных о состоянии геологической среды и планирования дальнейших горных работ, а также разработки предупредительных мер, обеспечивающих минимальные риски при отработке солей. Схема составлена на основе учета и анализа данных геологических работ, структурно-геоморфологических построений, комплексного мониторинга геологических процессов, математического моделирования изменений напряженно-деформированного состояния массивов пород и других работ, выполненных геологической службой ПАО «Уралкалий» и привлекаемыми геологическими организациями, в том числе ИГЭ РАН.

В процессе исследований выполнено аналитическое обобщение материалов геологических работ, дешифрирование материалов дистанционных съемок, математическое моделирование фильтрационных и геодинамических процессов, а также специальное инженерно-геологическое картографирование в масштабах 1:25000–1:100000.

Карта-схема зонирования включает площади шахтных полей трех действующих Соликамских рудоуправлений: СКРУ-1, СКРУ-2 и СКРУ-3. Подземные выработки располагаются на разных горизонтах в соответствии с условиями залегания разрабатываемых продуктивных пластов калийных солей. Размеры подземных выработок составляют: высота камер от 3 до 12 м, при ширине от 7.5 до 14 м. Ширина оставляемых целиков горных пород с естественными условиями их залегания колеблется от 7.3 до 14.4 м. Проходка осуществляется в виде удлиненных камер, разделенных целиками, которые формируют блоки подземных выработок, а те, в свою очередь, обширные панели. Их создание на глубинах 180–250 м требует применения сложных технологий и технических средств, в т.ч. проходческих и транспортных систем, создания разных по назначению подземных сооружений: шахт, штолен, монтажных и вентиляционных выработок и других.

Важная задача выполненных исследований – выявление природных рискообразующих факторов и установление пространственного положения зон проявления и видов опасных геологических процессов, определяющих степень опасности ведения подземных горных работ.

В соответствии с классификацией инженерно-геологических карт данная схема зонирования территории в крупном масштабе 1:25000 относится к синтетическим (обобщающим) специализированным картам целевого (для конкретного вида строительства) инженерно-геологического районирования оценочно-сравнительного типа. Ее составление потребовало дополнения и совершенствования методики инженерно-геологического картографирования.

По совокупности геологической и мониторинговой информации о составе, состоянии и свойствах геологической среды и геологических процессах для каждого крупного участка определялись основные (ведущие) природные рискообразующие факторы. По этим факторам устанавливались (прогнозировались) возможные наиболее опасные инженерно-геологические процессы, которые определяют устойчивость геологической среды и безопасность ведения горных работ. По совокупности рискообразующих факторов и опасных геологических процессов для выделенных участков экспертным путем определялась степень опасности условий ведения горных работ, которая обуславливается, в том числе активизацией геологических процессов в границах шахтных полей рудников.

Карта-схема зонирования составлена по «светофорному» принципу и содержит информацию, характеризующую пространственное положение зон с разной степенью опасности геологических процессов при подземной отработке калийных солей.

На благоприятных участках с низкой степенью опасности могут проявляться 1–2 геологических процесса, не оказывающих, как правило, существенного влияния на устойчивость подземных выработок. В основном, они обусловлены изменениями химического состава пород под воздействием термодинамических и гидрохимических условий, например, процесс солезамещения калийных солей на каменную соль. На неблагоприятных участках, со средней степенью опасности возможно развитие до 4-х процессов, в том числе, изменяющих состав, состояние и свойства соляных пород. На опасных и чрезвычайно опасных участках с повышенной и высокой степенью опасности,

соответственно, могут развиваться от 5 и более природных и природно-техногенных процессов.

Опасные процессы оказывают непосредственное влияние на строение, состояние и свойства пород водозащитной толщи (ВЗТ), которая предохраняет подземные выработки от растрескивания и разрушения вмещающих их пород и проникновения в них подземных вод, приводящего в чрезвычайных ситуациях к затоплению всего выработанного пространства. Установленные и прогнозируемые аномальные зоны в строении ВЗТ являются важнейшими признаками и причинами локализации возможных аварийных участков.

В условных обозначениях к схеме зонирования дается описание особенностей аномальных зон в строении ВЗТ, факторов их обуславливающих и ведущих геологических процессов, осложняющих условия ведения подземных работ.

#### ***Аномальные зоны в строении ВЗТ***

*Аномальные зоны 1-й группы* опасности обусловлены нарушением строения ВЗТ (отсутствием/размывом одного или двух горизонтов (ВЗТ<sub>2</sub>, ВЗТ<sub>3</sub>) с сопутствующими процессами трещинообразования, формирования одиночных разрывных и флексурно-складчатых деформаций, выщелачивания, растворения солей, разубоживания пластов и др. В пределах этих зон прогнозируется потеря устойчивости ВЗТ при отработке продуктивных пластов калийных солей с максимальной степенью опасности.

*Аномальные зоны 2-й группы* опасности обусловлены нарушением структуры отдельных горизонтов ВЗТ, разрывными и флексуобразными деформациями с образованием обширных участков сильно трещиноватых пород с системой протяженных открытых трещин. В пределах этих зон на конец процесса сдвижения земной поверхности над выработками прогнозируется с высокой степенью опасности образование сквозных субвертикальных трещин в ВЗТ с нарушением ее рассолоудерживающей способности.

*Аномальные зоны 3-й группы* опасности обусловлены изменением состояния и состава горных пород при локальных разрывных и сдвиговых дислокациях с формированием участков сильной трещиноватости пород при активно развивающихся процессах разубоживания продуктивных пластов, выщелачивания и замещения сильвинита каменной солью. На конец процесса сдвижения земной поверхности над подземными выработками, в них прогнозируется разрушение отдельных слоев ВЗТ без нарушения

ее сплошности и экранирующей способности со средней степенью опасности.

В *аномальных зонах 4-й группы* опасности в результате термодинамических и гидрогеохимических условий происходит изменение химического состава пород, проявляющееся, преимущественно, в замещении калийных солей каменной солью, а также карналлита – сильвинитом.

#### ***Структурно-тектонические особенности территории***

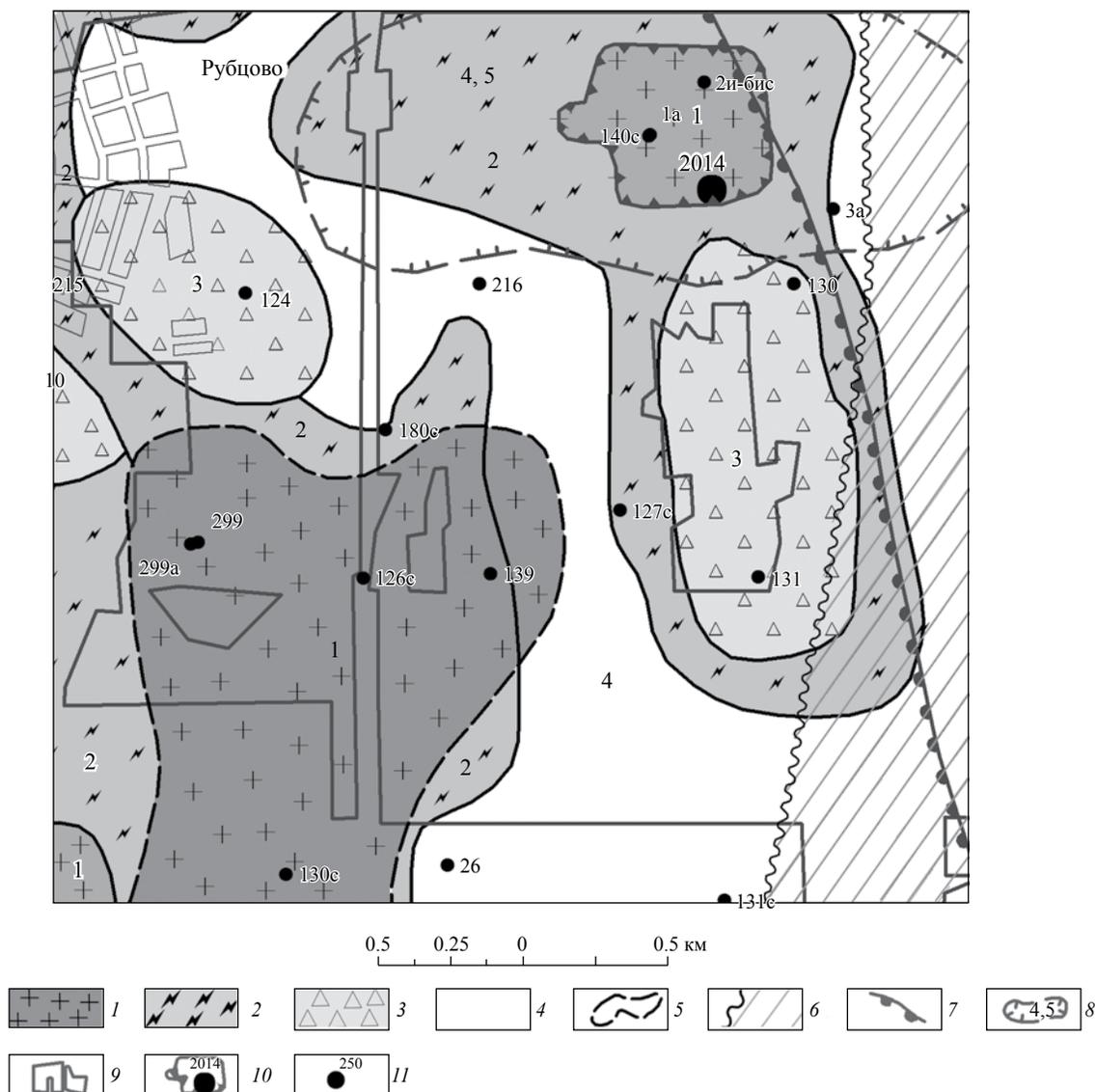
Существенное влияние на условия подземной отработки калийных солей оказывают структурно-тектонические особенности рассматриваемой территории, к которым относятся:

– зоны региональных структурных надвигов в толще соляных пород [2], имеющие полого наклонное залегание сместителей и значительные размеры по простиранию: ширину от 2 до 4 км и протяженность по меридиану первые десятки километров; данные зоны характеризуются сильной дислоцированностью и трещиноватостью пород с открытыми трещинами большой протяженности;

– локальные неотектонические складчатые структуры (поднятия и прогибы), которые в значительной степени определяют условия залегания пластов калийных солей, их напряженно-деформированное состояние, развитие мелкой складчатости и трещин (на схеме зонирования неотектонические структуры проиндексированы и поименованы в легенде);

– локальные валообразные и купольные структуры в строении соляной и надсоляной толщ, определяющие участки отсутствия (размыва) маркирующего слоя покровной каменной соли в составе водозащитной толщи, а также места близкого залегания к дневной поверхности сильно растворимых пород соляно-мергельной толщи, которые в обоих случаях обуславливают существенные нарушения строения и целостности водозащитной толщи, что является важнейшим фактором развития опасных фильтрационных и деформационных процессов в толщах пород;

– линейно вытянутые участки сгущения тектонических нарушений с повышенной раздробленностью и трещиноватостью коренных пород надсоляной толщи. Ширина этих зон колеблется от первых десятков до первых сотен метров. Пространственное положение этих зон определяется комплексом методов, включающим структурно-геоморфологический анализ территории, установление линеаментов и уступов в рельефе территории при



**Рис. 2.** Фрагмент карты-схемы зонирования территории Соликамского района Пермского края по условиям подземной отработки залежи калийных солей.

Участки с разными условиями подземной отработки залежи калийных солей (зоны): 1 – 1-й группы, чрезвычайно опасные; 2 – 2-й группы, опасные; 3 – 3-й и 4-й групп, неблагоприятные; 4 – благоприятные; Границы: 5 – участков отсутствия пласта покровной каменной соли (ПКС); 6 – зон повышенной трещиноватости пород; 7 – зоны регионального структурного надвига в соляной толще; 8 – участков оседания земной поверхности над подработанными территориями с суммарными вертикальными деформациями в метрах; 9 – подработанных территорий; 10 – участок единовременного оседания поверхности земли в 1995 г. с провалом 2014 г.; 11 – горные выработки и их номера.

дешифрировании космофотоснимков, анализ геологических разрезов и колонок горных выработок и др. Данные обширные зоны являются областями активного развития фильтрационных, гипергенных и деформационных процессов;

– линейные зоны крупных субвертикальных тектонических нарушений, секущих массивы пород всей надсоляной толщи, включая верхнюю часть водозащитной толщи; они образуют структурные узлы сопряжения и пересечения тектонических нарушений, в пределах которых

активно развиваются фильтрационные, суффозионно-карстовые и деформационные процессы, обуславливающие образование участков оседания и провалы земной поверхности.

Сочетание приведенных выше факторов (структур), синергизм воздействий на массивы пород могут способствовать активизации опасных техноприродных процессов. Неправильно выбранная технология ведения подземных работ может активизировать, усилить их, а оптимальная – полностью исключить или сделать несущественными.

### *Зонирование территории*

С целью оценки, прогнозирования и локализации опасных участков с наиболее сложными условиями подземной отработки калийных солей на схеме зонирования территории в масштабе 1:25 000 показаны:

- участки оседания земной поверхности над современными подработанными территориями с суммарными вертикальными деформациями в метрах;
- участок единовременного оседания поверхности земли на площади около 70 га в 1995 г. с провалом 2014 г.;
- участки оседания земной поверхности над старыми подработанными территориями (по данным интерферометрической съемки со спутника);
- границы участков отсутствия пласта покровной каменной соли (ПКС);
- границы близкого к земной поверхности залегания пород соляно-мергельной толщи (СМТ) с высокой растворимостью и деформируемостью пород;
- зоны повышенной трещиноватости пород тектонической природы (“зоны сгущения трещин”);
- зоны региональных структурных надвигов в соляной толще;
- зоны отдельных крупных субвертикальных тектонических нарушений.

Фрагмент схемы зонирования территории по степени сложности (опасности) подземной отработки соляной залежи приведен на рис. 2.

На схему также вынесены границы: региональных неотектонических структур, горных отводов рудников и их названия; подработанных территорий; городов и населенных пунктов; промышленных зон; объекты гидрографии (реки, озера, водоемы); горные выработки и их номера; железные дороги; линии геолого-геоморфологических профилей.

Анализ информации, приведенной на схеме зонирования территории, показал, что участки с повышенной и высокой степенью опасности развития опасных геологических процессов при подземной отработке залежи калийных солей локализуются, преимущественно, в зонах региональных структурных надвигов в соляной толще. Здесь массивы горных пород испытывают повышенные горизонтальные сжимающие и скалывающие напряжения, определяющие формирование складчатости и высокой трещиноватости пород, в том числе открытой (зияющие трещины), обусловленной дилатансией горных пород при разрушении в зонах сдвига. Здесь же установлены

локальные неотектонические структуры – небольшие поднятия, широкие и протяженные зоны сгущения тектонических нарушений, участки с аномалиями строения водозащитной толщи и места близкого залегания к дневной поверхности пород соляно-мергельной толщи. Все эти факторы в целом и по отдельности могут способствовать развитию опасных геологических процессов и создавать сложности при выполнении подземных горных работ. Анализ геологических и мониторинговых данных на карте позволяет делать выводы о сложности инженерно-геологических условий обрабатываемого подземного пространства на отдельных участках территории.

В общем, участки с высокой степенью опасности (сложности) ведения подземных горных работ характеризуются самым большим набором рискообразующих факторов и процессов. На оригинальной карте-схеме по светофорному принципу обозначены участки геологической среды, где условия отработки благоприятные (зеленый цвет) и где существуют ограничения (желтый цвет). Оранжевым и красным цветами показаны участки, где условия отработки являются опасными, в первую очередь, из-за нарушения сплошности и (или) отсутствия в геологическом разрезе отдельных горизонтов водозащитной толщи, а также изменения состава слагающих их пород в результате геохимических и термодинамических процессов. Участки с разной цветной закраской характеризуются различной степенью опасности и разным количеством рискообразующих факторов и опасных природных и природно-техногенных процессов.

### **ВЫВОДЫ**

Установленные на рассматриваемой территории зоны с разной степенью сложности подземной отработки залежи калийных солей, обусловлены, преимущественно, развитием опасных геологических процессов природного и природно-техногенного генезиса.

Планирование дальнейшего развития сырьевой базы добывающих и перерабатывающих предприятий в Соликамском районе Пермского края необходимо выполнять с учетом предложенной схемы зонирования. Представляется целесообразным дальнейшее размещение участков подземной отработки залежи калийных солей ориентировать на территории, расположенные вне зон региональных структурных надвигов, сгущения тектонических нарушений и узлов их пересечения. Потенциально опасными являются участки с нарушениями строения и целостности водозащитной толщи, а также

близкого залегания к дневной поверхности пород соляно-мергельной толщи.

Комплексные схемы организации сетей мониторинговых наблюдений и объектов инженерной защиты территорий должны, в первую очередь, разрабатываться для зон с высокой и повышенной степенью опасности развития геологических процессов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00125 “Оценка риска опасных природных процессов на урбанизированных территориях”).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологические памятники Пермского края / Под общ. ред. И.И. Чайковского. Пермь: “Книжная площадь”, 2012. 627 с.
2. Джиноридзе Н.М. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей СПб.—Соликамск: ОГУП Соликамск. Типография, 2000. 400 с.
3. Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Верхоланцев А.В., Глебов С.В. Мониторинг сейсмических процессов в капитальных рудниках: результаты наблюдений и перспективы развития // Горный журнал. 2013. № 6. С. 50–54.
4. Мамаев Ю.А., Ястребов А.А. Инженерно-геологическое районирование территории Соликамских рудников в Пермском крае для оценки условий строительства и эксплуатации наземных капитальных

объектов //Сб. Сергеевские чтения. Вып. 19. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. М.: РУДН, 2017. С. 529–533.

### REFERENCES

1. *Geologicheskie pamyatniki Permskogo kraja* [Geological monuments of the Perm krai]. Chaikovskii, I.I., Ed., Perm, Knizhnaya ploshchad' Publishers, 2012, 627 p. (in Russian)
2. Dzhinoridze, N.M. *Petrotektonicheskie osnovy bezopasnoi ekspluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinomagnievykh solei*. St. Petersburg-Solikamsk: OGUP Solikamsk Printing House, 2000, 400 pp. (in Russian)
3. Dyagilev, R.A., Shulakov, D. Yu., Verkholantsev A.V., Glebov, S.V. *Monitoring seismicheskikh protsessov v kaliinykh rudnikakh: rezul'taty nablyudenii i perspektivy razvitiya* [Monitoring of seismic processes in potassium mines: observation results and development prospects], *Gornyi zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 50–54. (in Russian)
4. Mamaev, Yu.A., Yastrebov, A.A. *Inzhenerno-geologicheskoe raionirovanie territorii Solikamskikh rudnikov v Permskom krae dlya otsenki uslovii stroitel'stva i ekspluatatsii nazemnykh kaliinykh ob'ektov* [Engineering geological zoning of Solikamsk mine territory, Perm krai for assessing conditions of construction and operation of surface mining facilities]. *Sergeevskie chteniya, vyp. 19. Geologicheskaya bezopasnost' razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Proc. 19th Conference in commemoration of academician E.M. Sergeev. Geological safety upon mining of mineral deposits], Moscow, RUDN, 2017, pp. 529–533 (in Russian).

## ZONING OF THE SOLYKAMSK MINE TERRITORY (PERM KRAI, RUSSIA) BY THE GEOHAZARD DEGREE OF MINING THE POTASSIUM SALT DEPOSIT

Yu.A. Mamaev, A.A. Yastrebov

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: mamaev47ya@mail.ru*

The paper is devoted to the assessment of geological conditions and the prediction of development of hazardous technonatural processes in the undermined territory of Solikamsk town and the adjacent regions located in the center of the greatest in Russia potassium salt deposit.

The studied region is characterized by the complicated multi-level fault-blocky structure of bed rock massifs and complex engineering geological conditions. Hazardous geological processes are active there, i.e., seismicity ranging from 3 to 7 (MSK-64 scale), karst, suffusion, settling and collapses of the surface, waterlogging and flooding of territories, erosion, ecological processes, etc. The regarded area encompasses operating mines with huge subsurface workings, major industrial enterprises with harmful production and diversified facilities. Vast areas of surface subsidence have been formed there, and technogenic accident took place in 1995 and 2014.

On the basis of engineering geological interpretation of geological survey results and complex monitoring observations in mine workings and on the earth surface, the schematic map has been compiled of zoning the salt mine territory by the conditions subsurface development of potassium salt deposits. The natural risk-forming factors have been revealed as well as the zones of manifestation and types of geohazards that influence mining operations. The work is aimed at mitigating the hazard of negative process development and minimizing the losses from possible accidents at the mines.

**Key words:** *potassium salt deposit, mining, territory zoning, geohazard degree, karst-suffusion collapses, surface subsidence.*