

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 624.131.1:551

МОДЕЛИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ
КАК ОСНОВА ЗОНИРОВАНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
КАЛИЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО СТЕПЕНИ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РИСКА

© 2020 г. Ю. А. Мамаев^{1,*}, П. В. Стольникова¹

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: matmaev47ya@mail.ru

Поступила в редакцию 27.12.2019 г.

После доработки 12.02.2020 г.

Принята к публикации 12.02.2020 г.

Статья посвящена разработке методики зонирования территории г. Березники Пермского края по особенностям геолого-техногенных условий ее строения и освоения, включая подземную отработку месторождения калийных солей, обуславливающих экономические риски от опасных процессов. Результаты исследований нацелены на разработку прогнозов развития деформаций и провалов земной поверхности на подработанной территории города в пределах границ горного отвода калийного рудника. На основе разработанной таксономической схемы зонирования выделены и охарактеризованы инженерно-геологические области, зоны, районы и участки городской территории, которые могут рассматриваться как модели оценки экономических рисков. По данным мониторинговых наблюдений установлены временные показатели развития опасных процессов в случае техногенной аварии с затоплением подземных выработок, а также приводятся приближенные экономические оценки ущерба, которые могут являться аналогами экономических рисков для других объектов Соликамско-Березниковской градопромышленной агломерации.

Ключевые слова: *урбанизированная территория, подработанное пространство, геологическое строение, схема отработки калийной залежи, модели природно-техногенных условий, зонирование территории, экономические риски*

DOI: 10.31857/S0869780920030078

ВВЕДЕНИЕ

Исследования инженерно-геологических условий и факторов формирования геологического риска выполнялись применительно к подработанной территории месторождения калийных солей в г. Березники Пермского края, где в границы горного отвода под шахтные выработки попали участки обширной промышленной зоны и городской жилой застройки [2]. В составе работ по оценке природного риска на выбранном объекте в предыдущие годы были изучены и охарактеризованы природные и техногенные факторы, определяющие условия развития опасных техно-природных процессов на подработанных территориях [4]. Здесь в границах горного отвода Березниковского калийного первого рудоуправления (БКПРУ-1) в результате техногенно-природной аварии, случившейся в 2006 г., произошло затопление выработанного подземного пространства рудника объемом около 80 млн м³. Это привело к формированию на отдельных участках рассматриваемой территории значительных деформаций (до 4–5 м) земной по-

верхности. В последующие годы (2007, 2010, 2011, 2015 гг.) здесь же произошли огромные провалы поверхности земли с плановыми размерами от 150 до 400 м в диаметре и глубиной около 90 м, вызвавшие значительные деформации и разрушения жилых и промышленных зданий, транспортных магистралей и инженерных сетей на поверхности земли и обусловившие необходимость демонтажа сооружений и оборудования, а также частичное переселение жителей города [3]. Для оценки степени опасности и экономического риска от продолжающегося процесса формирования деформаций и провалов земной поверхности на территории промышленной и жилой зон города были разработаны методики построения и макеты карт районирования по степени опасности развития геологических процессов и уязвимости объектов и территории г. Березники.

Цель статьи – разработка методики составления схемы зонирования подработанной территории калийного месторождения в г. Березники по моделям природно-техногенных условий, обу-

словливающих экономические риски (моделям рисков).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под уязвимостью природной или природно-техногенной системы понимаются свойства, характеризующие ее восприимчивость к воздействиям внешних или внутренних опасных процессов (источников рисков) и определяющие потери (ущербы) системы. Уязвимость тесно связана с понятиями “устойчивость” и “живучесть” системы. Степень возможных потерь (ущерба) любой рассматриваемой системы от разных элементов риска – основная характеристика уязвимости.

Уязвимость объекта (потенциальная пораженность) зависит от:

- подверженности территории его размещения воздействиям опасных геологических процессов, их повторяемости, масштабности и длительности воздействия;

- защищенности объекта, в том числе, его конструктивных решений, наличии систем и объектов инженерной защиты, оптимальной организации технологических процессов и сетей инженерного обеспечения;

- административных и организационных мер, включающих проекты предупредительных и защитных мероприятий, планы оповещения и информирования населения о поведении в зонах ЧС и других.

Под риском понимается экономическая категория, характеризующая возможный ожидаемый (условно реализованный) социальный и экономический ущерб (убыток) от возможного случая проявления опасного процесса, выраженный в количестве погибших и раненных людей, стоимости их личной собственности и объектов хозяйственно-экономической деятельности. Иначе, риск понимается как возможная реализация опасности или условно материализованная опасность, зависящая как от параметров опасного процесса, так и от характера использования и ценности территорий и объектов, которые эти процессы могут поразить [4].

Анализ современного отечественного и зарубежного опыта составления карт (схем) опасности, уязвимости и риска показывает, что на данный момент нет единых законченных и общепринятых методик составления подобных карт. Каждое из направлений картографирования содержит несколько модификаций карт, отражающих разные геологические особенности территорий, а также задачи и методики исследований. Картографирование природной опасности, уязвимости и риска может выполняться в разных масштабах и с различной целевой направленностью, а именно – размещение объектов народного

хозяйства и населения; планирование сельскохозяйственного производства; организация мониторинга природной среды; разработка схем и мер инженерной защиты территорий и объектов и другое. Изложенные в данной статье результаты работ продолжают и развивают основные направления исследований, целью которых является разработка прогнозов развития опасных геологических процессов на территории г. Березники и методов оценки обусловленных ими рисков. Исследования проводятся, преимущественно, на основе инженерно-геологической интерпретации имеющихся материалов геологических работ, инженерных изысканий и комплексных мониторинговых наблюдений.

ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ г. БЕРЕЗНИКИ НА ОСНОВЕ СОСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ РИСКОВ

Сочетание природных и техногенных факторов, действующих (проявляющихся) в разных частях рассматриваемой территории муниципального образования г. Березники и, прежде всего, в границах горного отвода рудника БКПРУ-1, обуславливает разнообразие природно-техногенных условий развития опасных процессов, которые могут приводить к авариям на производстве, потерям в социальной и бытовой сферах жизни населения, транспортным происшествиям и другим негативным событиям, прогнозируемый (условно реализованный) ущерб от которых и является риском.

Для установления закономерностей пространственного расположения участков с разными сочетаниями (моделями) природных и техногенных особенностей их строения и промышленного освоения, обуславливающих риски, необходимо выполнить зонирование рассматриваемой территории с учетом природных и техногенных признаков выделения таксонов, соответствующих тем или иным моделям. Методика зонирования основывается на актуализированной методике инженерно-геологического однорядного типологического районирования. Таксономическая схема зонирования территории г. Березники по моделям рисков включает следующие соподчиненные территориальные выделы: области, зоны, районы и участки (рис. 1).

Области выделяются по комплексной оценке инженерно-геологических условий крупных субрегиональных структурно-геоморфологических элементов. На рассматриваемой территории выделяются две области, а именно:

- область I – долины р. Камы и ее крупных притоков;

- область II – Березниковское поднятие, которое представляет собой возвышенную, выполо-

женную, пологоволнистую равнину на толще терригенно-карбонатных пород соликамской свиты нижней перми (P_1sl_2) [1].

В пределах областей по технологическим особенностям отработки калийной залежи выделяются *зоны*, которые соответствуют определенным схемам ведения работ, выполненным в разные годы по основным продуктивным пластам калийных солей:

- А – зона одноуровневой отработки,
- В – зона двухуровневой отработки,
- С – зона трехуровневой отработки.

На общую устойчивость горных выработок влияют состав, состояние и физико-механические свойства пород, слагающих кровли выработок, а также размеры камер и междуканнерных целиков, в которых возможно формирование трещин скола с потерей прочности и развитием деформаций. При разрушении горных пород вокруг выработок вместе с развитием трещин меняются деформационные характеристики массивов пород. Развитие деформаций в этих зонах приводит в дальнейшем к формированию куполов обрушения над выработками. В зонах с двух- и трехуровневыми схемами отработки залежи (В и С) при этажном расположении выработок в массивах вмещающих пород могут развиваться весьма сложные зоны изменений напряженно-деформированного состояния пород, которые могут достигать земной поверхности и образовывать участки оседаний и провалы.

Инженерно-геологические *районы* выделяются внутри зон с разными пространственными технологическими схемами отработки залежи, а также в пределах сохранных территорий инженерно-геологических областей по особенностям геологического строения массивов пород, точнее, по наличию крупных дизъюнктивных тектонических структур. Ширина зон влияния отдельных крупных тектонических нарушений по данным буровых и геофизических работ может изменяться от 50 м до первых километров. В пределах зон массивы горных пород характеризуются высокой трещиноватостью, раздробленностью и проницаемостью пород. На схеме зонирования территории города (см. рис. 1) районы проиндексированы арабскими цифрами 1–3. К ним относятся территории, строение которых осложнено зонами надвигов в пределах соляной толщи (1), крупными тектоническими нарушениями (2), выделяются также районы с относительно сохранным геологическим строением массивов пород (3).

В границах одних районов отмечается активное развитие опасных геологических процессов, в том числе деформаций и провалов земной поверхности, в других – устойчивое состояние геологической среды.

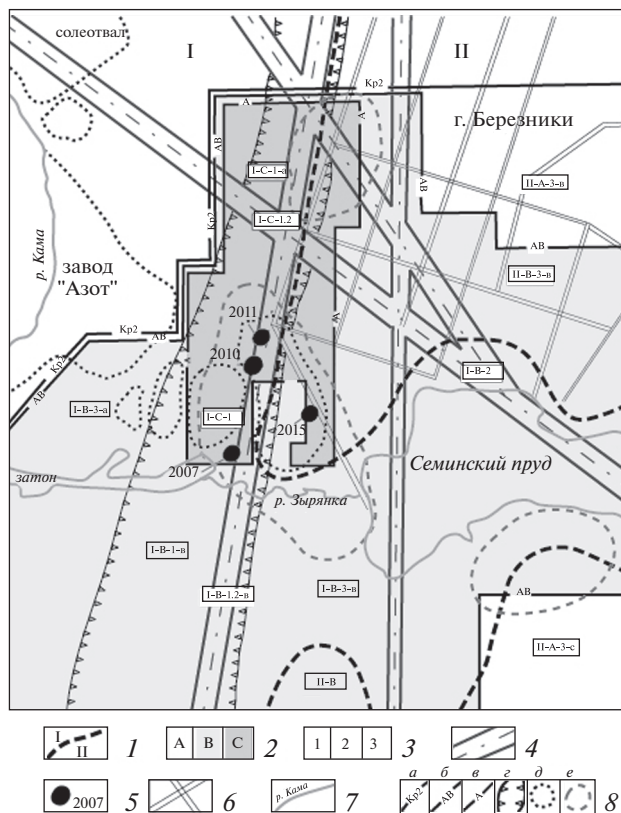


Рис. 1. Фрагмент схемы зонирования подработанной территории горного отвода рудника БКПРУ-1 в г. Березники по моделям природно-техногенных условий, обуславливающих экономические риски (моделям рисков). I – инженерно-геологические области: I – Долина р. Кама и ее притоков; II – Березниковское поднятие; 2 – природно-техногенные зоны: А – одноуровневая, В – двухуровневая, С – трехуровневая; 3 – структурно-тектонические районы, соответствующие зонам: 1 – региональных надвигов, 2 – крупных тектонических нарушений, 3 – сохранного строения массивов пород; 4 – тектонические нарушения; 5 – провалы земной поверхности и голы их образования; 6 – улицы города; 7 – водные объекты; 8 – границы: а) выработок по горизонту калийных солей Кр2, б) выработок по горизонту АВ, в) выработок по горизонту А, г) зоны надвига, д) крупных промышленных объектов, е) зон деформаций земной поверхности.

Особенностью районов 1 – крупных региональных субмеридианальных надвигов на данной территории (Усольский, Соликамский, Троицкий надвиги), являются значительные (сотни метров) сдвиговые горизонтальные смещения по напластованию солей. Ширина надвиговых зон в проекции на дневную поверхность от 1 до 4 км, а протяженность в меридианальном направлении до 40–55 км. Углы падения кулисообразно залегающих сместителей в пределах соляной толщи изменяются от 8° до 45°. Надвиги согласуются по простиранию с региональными структурами – Красноуфимской разломной зоной и Камским

прогибом. Они пересекают субширотные поперечные Дуринскую, Боровскую, Зырянскую и другие сдвиговые зоны, а также тектонические дислокации, локализованные внутри отдельных блоков.

Районы 2 соответствуют территориям развития крупных тектонических нарушений в массивах горных пород надсоляной толщи. Из-за высокой трещиноватости и проницаемости пород данные районы являются областями сосредоточенной фильтрации и каналами проникновения агентов выветривания пород и химических загрязняющих элементов. Районы 2 могут быть представлены одиночными крупными субвертикальными разломами, трансформными поперечными сдвиговыми структурами и полями сгущения более мелких тектонических нарушений. Данные структуры, как правило, пересекают всю надсоляную толщу пород.

Участки на схеме зонирования обособляются по видам техногенного наземного хозяйственного освоения территории города с выделением площадей, занятых:

- промышленными объектами, в первую очередь, предприятиями с повышенным уровнем ответственности;
- жилищной застройкой;
- неосвоенными землями.

Выделение участков является важным моментом, так как позволяет учесть в моделях рисков обособляемых территорий фактор уязвимости объектов – степень их возможных потерь (ущербов) от опасных процессов. На территории г. Березники установлено, что уязвимость промышленных объектов, особенно с опасными видами производства, может в несколько раз превышать уязвимость гражданских и жилых объектов.

На схеме зонирования территории г. Березники, включающей площадь горного отвода рудника БКПРУ-1 и захватывающей значительные части промышленной зоны и жилой застройки, по методике однорядного типологического районирования с учетом природных (инженерно-геологических) и техногенных признаков обособления территорий выделены и охарактеризованы следующие таксоны: 2 области, 6 зон, 18 районов и около 40 участков. Именно природно-техногенные особенности строения и освоения районов и участков будут являться детальными моделями формирования рисков на рассматриваемой территории.

Наибольшей степенью опасности (вероятности) развития деформаций и провалов земной поверхности на рассматриваемой территории характеризуются участки, расположенные в зонах В и С, соответственно, с двух- и трехуровневыми условиями отработки калийной залежи, и попадающие в районы развития крупных тектониче-

ских нарушений (районы 1 и 2). Именно здесь произошли крупные провалы, и продолжают формироваться мульды оседания с максимальными величинами деформаций земной поверхности до 5.5 м. Следовательно, и риски возможных экономических потерь от разрушений промышленных и жилых объектов, транспортных и инженерных сетей и других сооружений предполагаются наибольшими.

Сравнительно меньшими рисками характеризуются территории в границах подработанного пространства (зоны А, В, С), но расположенные в районе 3, т.е. вне зон крупных тектонических структур. Здесь отмечаются значительно меньшие величины деформаций земной поверхности (от 0.3 до 1.0 м), и, следовательно, ожидаются меньшие возможные экономические потери.

Наименьшим риском экономического ущерба характеризуются участки, расположенные в пределах инженерно-геологической области II, вне границ подработанного пространства, а также в районе 3 с относительно сохранным геологическим строением массивов. Аналогичные территории, расположенные в инженерно-геологической области I, все же подвергаются опасности затопления, подтопления, заболачивания, сильной эрозии и других экзогенных процессов. Они заняты преимущественно объектами промышленной зоны города с предприятиями, имеющими опасные виды производств, и поэтому обладают определенным риском экономических и социальных потерь.

Анализ и оценка природных и техногенных факторов, определяющих условия развития опасных природно-техногенных процессов и обусловленных ими рисков на той или иной территории, позволяет установить основные элементы рисков и дать их качественную или количественную оценку. На рассматриваемой территории рудника БКПРУ-1 к элементам риска могут быть отнесены: горные выработки с оставленным технологическим оборудованием и транспортными механизмами; потерянные (недополученные) в результате аварии производственные объемы калийных и магниевых солей; производственные объекты разрушенного горно-обогатительного комбината; объекты транспортной инфраструктуры и инженерных сетей; объекты, возведенные для минимизации последствий аварий (например, защитные гидротехнические дамбы); деформированные и разрушенные многоквартирные дома; стоимость переселения в новые помещения; затраты на решение общегородских социальных проблем (например, восстановление автотранспортных магистралей) и другие элементы.

СТОИМОСТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Просчитать риски от природных, техно-природных и опасных производственных процессов, значит дать их приближенную стоимостную оценку, а также примерные временные рамки реализации опасности, восстановления и ликвидации последствий.

Главной особенностью экономических рисков на урбанизированных территориях является их масштабность, т.е. вероятность очень больших ущербов. Тем более это относится к территориям, подработанным горными выработками, что можно проиллюстрировать на примере аварии 2006 г. на руднике БКПРУ-1 в г. Березники. В соответствии с актом Ростехнадзора от 2009 г. по расследованию причин аварии, произошедшей на Первом Березниковском руднике ПАО «Уралкалий» в период с 17 по 28 октября 2006 г. (Поручение Правительства РФ от 29.10.2008 г. № ИС-П9-51 пр.), прямой ущерб от аварии и прекращения работы рудника составил 3 млрд руб. Сюда вошли убытки от затопленных проходческих комбайнов, специального автотранспорта, транспортных комплексов, многокилометровых кабельных линий, вентиляционных воздухопроводов, другого шахтного оборудования, а также финансовые потери от недополученной продукции.

Что касается временного фактора, то активная стадия аварии с затоплением всего выработанного пространства рудника продолжалась два года (2006–2008 гг.) с образованием в 2007 г. в границах подработанной территории огромного провала земной поверхности. Аналогичные провалы произошли на рассматриваемой территории в 2010, 2011 и 2015 гг., а мутьды оседания продолжают формироваться на дневной поверхности до настоящего времени, т.е. в течение 13 лет.

Деформации и провалы земной поверхности привели к разрушению зданий и сооружений: Горно-обогатительного комбината, шахтного комплекса № 3, администрации рудника БКПРУ-1, АО «ВНИИ Галургии», ООО «Строительного управления № 1», школы № 20, а также десятков жилых зданий 2–5-ти этажной застройки. Были разрушены и деформированы значительные

участки железной и автомобильных городских дорог. При оценке ущербов необходимо принимать во внимание не только стоимость строительства самих зданий и сооружений, но и затраты на их демонтаж, снос, ремонт, благоустройство, переселение людей и другие затраты. Это сотни миллионов рублей. Благодаря заблаговременным мониторинговым и охранным мероприятиям удалось избежать человеческих жертв. Но социальное и психологическое состояние населения, проживающего в районе активного развития деформаций земной поверхности, остается напряженным.

Приведенные выше количественные оценки ущербов и времени протекания опасных процессов могут быть использованы для приближенной количественной оценки возможных рисков на аналогичных объектах других рудников Соликамско-Березниковской градопромышленной агломерации в Пермском крае.

Результаты исследований, приведенные в статье, направлены на актуализацию методики целевого инженерно-геологического картографирования урбанизированных территорий и совершенствование научно-методических подходов к оценке социальных и экономических рисков на конкретных промышленных, предприятиях и объектах, оказывающих сильное воздействие на природную и социальную среду обитания.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ по проекту № 16-17-00125 «Оценка риска опасных природных процессов на урбанизированных территориях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологические памятники Пермского края. Энциклопедия / Под общ. ред. И.И. Чайковского. Пермь: Горный ин-т УрО РАН, 2009. 616 с.
2. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. М.: Эpsilon плюс, 2013. 368 с.
3. Мамаев Ю.А., Ястребов А.А. Комплексная защита подработанной территории калийного рудника в Пермском крае РФ // Инженерная защита. 2015. № 3 (8). С. 26–35.
4. Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Ястребов А.А. Зонирование территории г. Березники Пермского края РФ по степени опасности развития геологических процессов // Геоэкология. 2014. № 5. С. 434–441.

MODELS OF NATURAL-TECHNOGENIC CONDITIONS AS FEATURES OF ZONING UNDERMINED AREAS OF POTASH DEPOSIT BY THE DEGREE OF ECONOMIC RISK

Yu. A. Mamaev^{a, #} and P. V. Stol'nikova^a

^a *Sergeev Institute of Environmental Geoscience Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

[#] *E-mail: mamaev47ya@mail.ru*

The paper deals with the development of procedure for zoning the territory of Berезники, Perm region, based on geological and technogenic conditions of its structure and exploitation, including underground mining of

potash deposits that cause economic risks from hazardous processes. The research results are aimed at forecasting the development of surface deformations and collapses in the undermined area of the city within the boundaries of the potash field mining area. On the basis of the suggested taxonomic zoning scheme, the engineering-geological areas, zones, districts, and sections of an urban area that can be considered as models for assessing economic risks are identified and characterized. According to monitoring observations, time indicators are set for the development of hazardous processes in the event of technogenic accident with flooding of underground workings; and the approximate economic estimates of damages are given that may be analogous to economic risks for other objects of the Solikamsk-Berezniki urban industrial agglomeration.

Keywords: *urbanized territory, undermined area, geological structure, potash deposit mining scheme, models of natural and technogenic conditions, zoning of territory, economic risks*

REFERENCES

1. *Geologicheskie pamyatniki Permskogo kraya* [Geological monuments of the Perm krai]. Chaikovskii, I.I., Ed. Perm, Gornyi Inst. UrO RAN, 2009, 616 p. (in Russian)
2. Kudryashov, A.I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei* [Verkhnekamskoe salt deposit]. Moscow, Epsilon plyus Publ., 2013, 368 p. (in Russian)
3. Mamaev, Yu.A., Yastrebov, A.A. *Kompleksnaya zashchita podrabotannoi territorii kaliinogo rudnika v Permskom krae RF* [Combined protection of undermined area of potash deposit in Perm krai, Russia]. *Inzhenernaya zashchita*, 2015, no. 3(8), pp. 26–35. (in Russian)
4. Osipov, V.I., Mamaev, Yu.A., Yastrebov, A.A. *Zonirovanie territorii g. Berezniki Permskogo kraya RF po stepeni opasnosti razvitiya geologicheskikh protsessov* [Zoning of Berezniki territory, Perm krai, Russia, by the hazard of geological processes development]. *Geoekologiya*, 2014, no.5, pp. 434–441. (in Russian)