

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 550.831:550.835:662.02

DOI 10.52928/2070-1683-2023-34-2-92-99

ГЕОЭКОЛОГИЯ НЕДР ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

*д-р геол.-минерал. наук, проф. В.В. ФИЛАТОВ
(Владимирский государственный университет)
канд. геол.-минерал. наук, доц. К.В. ВАНДЫШЕВА
(Уральский государственный горный университет, Екатеринбург)*

Геологическая среда трансформируется при любых типах хозяйственной деятельности: изменяется ее строение, свойства и состояние. Во время эксплуатации месторождений производится выемка и перемещение большого количества горной породы, что охватывает огромные территории. В связи с этим проблема безопасной эксплуатации месторождений является актуальной в геоэкологическом плане.

В данной работе приводится обобщение опыта изучения комплекса геолого-геофизических методов тектонического строения и динамических событий, произошедших на Верхнекамском месторождении калийных солей в Пермском Приуралье, и обоснование критериев для их прогнозирования.

***Ключевые слова:** Пермское Приуралье, Верхнекамское месторождение калийных солей, тектонические дислокации различного ранга, гравитационное поле, прогнозирование мест появления опасных динамических событий.*

Введение. Геологическая среда, или недра Земли, испытывают существенную трансформацию при любых типах хозяйственной деятельности в виде изменения ее строения, свойств и состояния. Нагрузка, воздействующая на недра, называется техногенной, а процессы изменения геологической среды – техногенезом. Особенно масштабным техногенез является при разработках месторождений полезных ископаемых, когда эти месторождения относятся к категории крупных и уникальных. Эксплуатация месторождений сопровождается выемкой и перемещением огромных масс горной породы и захватывает площади в десятки и сотни квадратных километров. В результате этого в большом объеме происходит нарушение естественного напряженного состояния геологической среды. Восстановление ее равновесия сопровождается различными по форме и интенсивности динамическими явлениями, нередко катастрофическими (тектонические землетрясения, горные удары, обрушения в горных выработках и др.). Поэтому проблема безопасной эксплуатации месторождений является актуальной в геоэкологическом отношении.

Одним из таких месторождений, уровень техногенной нагрузки на геологическую среду в котором достиг критической отметки, служит Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) в Пермском Приуралье. Техногенная нагрузка на геологическую среду в этом районе создается не только из-за эксплуатации ВКМКС, но также крупным Камским водохранилищем, эксплуатацией месторождений углеводородов на глубоких горизонтах, извлечением подземных вод и других полезных ископаемых. Геологическая среда в пределах месторождения в такой ситуации перешла в состояние неустойчивого равновесия. Об этом свидетельствуют катастрофические динамические явления, произошедшие на ВКМКС за последние сорок лет.

Эксплуатация крупнейшего в мире Верхнекамского месторождения калийных солей, открытого в 1925 г. в Соликамско-Березниковском районе П.И. Преображенским, началась в 1932 г. Это месторождение стало базой для создания и развития химической промышленности СССР. Еще на начальных этапах разведки ВКМКС в различных толщах впервые было установлено П.И. Преображенским «полное вероятие трещиноватости, пересекающей все надсоленосные породы» и проникающей в соляные отложения, подчеркивая при этом, что «пластичность соли, препятствующая этому явлению, обязательно должна сказываться на больших глубинах (ниже 500 м), но для верхов соляной массы возможность наличия таких трещин ... вполне допустима» [1]. Наблюдения П.И. Преображенского тогда же были подтверждены гидрохимиком А.А. Варовым: «Воды «гипсоносной свиты», по его наблюдениям, и «покровной соли» не имеют непосредственных самостоятельных выходов (на дневную поверхность – прим. автора), ... однако проникновение воды до пластов соли вполне доказывается засолением «плитняковых» (мергелестых известняков и мергелей – прим. автора) вод» [2].

Даже из скупой характеристики трещинных зон однозначно следовал вывод о том, что эти зоны повышенной проницаемости для надсолевых и подсолевых вод могут иметь огромное значение для безаварийной эксплуатации месторождения. К сожалению, это обстоятельство не было принято во внимание и систематического изучения трещинных зон на ВКМКС не проводилось. Следствием проведения такой горно-геологической политики стало затопление в 1986 г. III-го Березниковского рудника (БКРУ-3), причиной которого стала проходка горной выработки в одной из трещинных зон¹. В дальнейшем из-за нарушения равновесия геологической среды в 1995 г. произошло техногенное землетрясение на Соликамском руднике СКРУ-2, образование провалов земной поверх-

¹ Барях А.А. Горно-технические аварии: опыт геомеханического расследования // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: тез. докл. Междунар. конф. – Волгоград; Пермь, 2000. – С. 8–9.

ности в 1999 г. в районе Березниковского рудника БКРУ-1 и его затопление в 2006 г. (рисунок 1). Таким образом, предметом настоящей работы являются трещинные зоны, изучение которых необходимо для оценки состояния геологической среды месторождения с целью предупреждения катастрофических динамических событий.



Рисунок 1. – Вид Березниковского рудника БКРУ-1 после затопления

Эксплуатация ВКМКС будет продолжаться еще десятки лет. За это время геологическая среда неоднократно будет терять равновесие, восстановление которого будет сопровождаться новыми опасными динамическими событиями, а материальный ущерб от них будет оцениваться гигантскими суммами. Поэтому актуальной на все время эксплуатации ВКМКС становится проблема изучения геологической среды, в которой сформировалось месторождение, выявление в ней структурно-тектонических неоднородностей, ответственных за нарушение ее равновесия, установление признаков или критериев, опираясь на которые можно осуществить районирование территории месторождения по степени его динамической активности, т.е. опасности для эксплуатации.

Методы исследования. При изучении геологической среды для прогнозирования в ней мест проявления динамических событий важнейшей является проблема выявления в данной среде таких структурно-тектонических элементов и процессов, которые способствуют нарушению ее естественного напряженного состояния. При изменении естественного напряженного состояния формируются локальные участки концентрации напряжений, которые являются очагами различных динамических событий. Прежде всего это трещинные зоны, как естественного, так и искусственного, или техногенного, происхождения (рисунок 2).



Рисунок 2. – Вид провала поверхности земли в районе Березниковского рудника БКРУ-3

Фактической основой для изучения трещинных зон и других структурно-тектонических объектов служат геологические, структурно-тектонические, геоморфологические, петрофизические, геофизические данные, полученные соответствующими методами. Различные методы исследования играют при этом разную роль. Места проявления динамических событий пространственно и генетически связаны с локальными нарушениями сплошности геологической среды в виде трещинных зон различного генезиса, размеров и пространственной ориентировки. Горные породы в этих зонах характеризуются аномальными физическими свойствами, поэтому трещинные зоны картируются аномалиями в соответствующих физических полях (гравитационном, электрическом, магнитном, поле скоростей и др.). Наиболее уверенно трещинные зоны картируются в поле силы тяжести. Целесообразность использования в основном данных гравиразведки обусловлена не только благоприятными физико-геологическими предпосылками применения этого метода, но также тем, что детальные и высокоточные исследования этим методом в масштабах 1:25000 выполнены на всю территорию ВКМКС, площадью около 2 тыс. км² [3–5]. Геофизические исследования другими авторами и другими методами выполнялись только эпизодически и на небольших участках [6–12] при решении частных задач картирования отдельных структурно-тектонических объектов.

Результаты исследований. I. Характеристика трещин и трещинных зон. Отдельные трещины и трещинные зоны на ВКМКС изучались эпизодически различными исследователями в основном в горных выработках² [13–19]. В кинематическом отношении трещины в продуктивной толще делятся на трещины отрыва и трещины скола. Трещины скола образуются в результате процессов складкообразования, поскольку системы этих трещин располагаются симметрично по отношению к осям складок. Ширина трещин не превышает 10–15 см, чаще они имеют длину в первые мм, при длине в первые дм. В полостях трещин находится сильвин и галит; это указывает на то, что они образовались на заключительной стадии герцинского этапа тектогенеза.

Системы трещин отрыва также обусловлены складкообразованием. На начальном этапе этого процесса трещины отрыва формируются вдоль осей складок в результате разрыва в кровле пласта при его изгибе. Ширина этих трещин изменяется от первых см до 1,0–1,5 м. На заключительной стадии складкообразования происходит полный разрыв пласта соли, между краями которого возникает пролет шириной от 20–30 до 100–150 м при длине по простиранию в несколько десятков м.

Связь структурообразования с трещинообразованием очень детально была изучена в продуктивной толще Тверитинской мульды, где было закартировано две трещинные зоны скола и две зоны отрыва шириной 200–400 м при длине по простиранию более 1 км. Расстояние между отдельными трещинами скола достигает 800 м, они имеют крутое падение, по вертикали прослеживаются на 13 м, раскрытость их не превышает 1 см, а смещение блоков по ним составляет от 0,5 до 1,5 см. Трещины отрыва имеют длину до 15–20 м, расстояние между ними составляет от 0,5 м до 50 м; они также имеют крутое падение, размах по вертикали составляет от 10 см до 1,5 м при раскрытости от дм до 1,5 м. Среди трещин отрыва особенно опасными для миграции подземных вод являются те из них, которые пересекают несколько продуктивных пластов: они, как правило, субвертикальные, их длина по падению достигает 90 м и по возрасту они являются более молодыми. Также опасны и субвертикальные трещинные зоны и участки милонитизации в надсоляной терригенно-карбонатной толще.

Ориентировка трещинных зон обоих генезисов согласуется с общей ориентировкой тектонических структур ВКМКС: северо-восточная под углами 25–60° и 10–40° и северо-западная под углами 280–310°.

Значительное число отдельных трещин и трещинных зон закартировано вдоль флексурных перегибов и в сводах антиклинальных структур (Поповское и Пашковское поднятия) субмеридионального и реже северо-западного и широтного простираний, а также мелкие трещины и трещинные зоны, связанные с антиклинальными и синклинальными складками.

Важным фактором, контролирующим трещинообразование, является тектоника дорифейского фундамента, залегающего в Соликамской впадине на глубине около 5 км. Изучение связи тектоники фундамента и трещинообразования показало, что в галогенной толще происходят не только пластические, но и хрупкие деформации при разрядке тектонических напряжений в разломных и трещинных зонах, а по проницаемым зонам трещиноватости происходит внедрение подсолевых и поверхностных вод, способствующих развитию процессов катагенетического и гипергенного выщелачивания, перекристаллизации и замещению первичных солей вторичными. Все эти процессы приводят к уменьшению прочности геологической среды, т.е. потенциально способствуют разрушению водозащитной толщи месторождения.

Кроме описанных выше трещин и трещинных зон, на ВКМКС были выявлены трещины невыясненного генезиса: они встречаются редко, имеют меридиональное простирание, длина их достигает нескольких десятков м, они не имеют четкой связи со структурами, являются более молодыми, чем трещины скола и отрыва. По нашему

² Татаркин А.В. Оценка и прогноз развития опасных природно-техногенных процессов на урбанизированных территориях: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.08. – Пермь, 2020. – 291 л.

Корочкина О.Ф., Кудряшов А.И. Система трещин в соляной толще Верхнекамского месторождения // Материалы III регионального совещания. – Пермь, 1991. – С. 16–24.

Белкин В.В. Техногенная трансформация геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.36. – Березники, 2010. – 280 л.

мнению, эти трещины образовались в областях динамического влияния глубинных разломов меридиональной ориентировки, которые ограничивают Соликамскую впадину с востока и запада.

Поскольку надсолевые отложения представляют собой жесткий слоистый комплекс, то внутри него образуется экзогенная и эндогенная трещиноватость. Эндогенная галокинезная трещиноватость формируется в результате растяжения слоев при куполообразовании или в результате раскрытия ранее возникших трещин при сползании пород на крыльях соляных куполов. Экзогенные трещины – это трещины выветривания и разгрузки; они сравнительно неглубокие (до 100–150 м), развиты унаследованно и, как и эндогенные трещины, не представляют большого значения для нарушения водозащитной толщи.

II. Картирование трещин и трещинных зон в поле силы тяжести. Результаты изучения трещин и трещинных зон, при всей их ценности, не позволяли установить плановое их распределение по всей территории месторождения, а следовательно, ответить на важнейший вопрос о том, в каком месте может произойти нарушение водозащитной толщи. Эту задачу удалось решить только с помощью гравиметровой съемки. Физико-геологической предпосылкой для этого послужило следующее обстоятельство. При трещинообразовании в горных породах различного генезиса, в том числе и в осадочных, происходит уменьшение плотности геологической среды. Исследования показали, что плотность горных пород в связи с образованием трещин может уменьшаться на 10–15% для осадочных пород и на 20–30% – для магматических и метаморфических пород. Трещинообразование происходит в локальных участках пластообразной формы, длина которых по простиранию может превышать 1 км, при крутом падении и при поперечных размерах и длине по падению от первых десятков до первых сотен м. Плотностные неоднородности таких размеров, как показали расчеты, при дефиците плотности равной 10% могут создавать линейно-вытянутые отрицательные аномалии силы тяжести интенсивностью в первые десятые доли мГал, которые надежно картируются гравиметрической съемкой масштаба 1:25000, выполненной Баженовской геофизической экспедицией УПГО «Уралгеология»³.

При интерпретации поля силы тяжести в связи с картированием трещинных зон были рассмотрены три частные задачи, в результате решения которых было установлено плановое положение и характеристики трещинных зон:

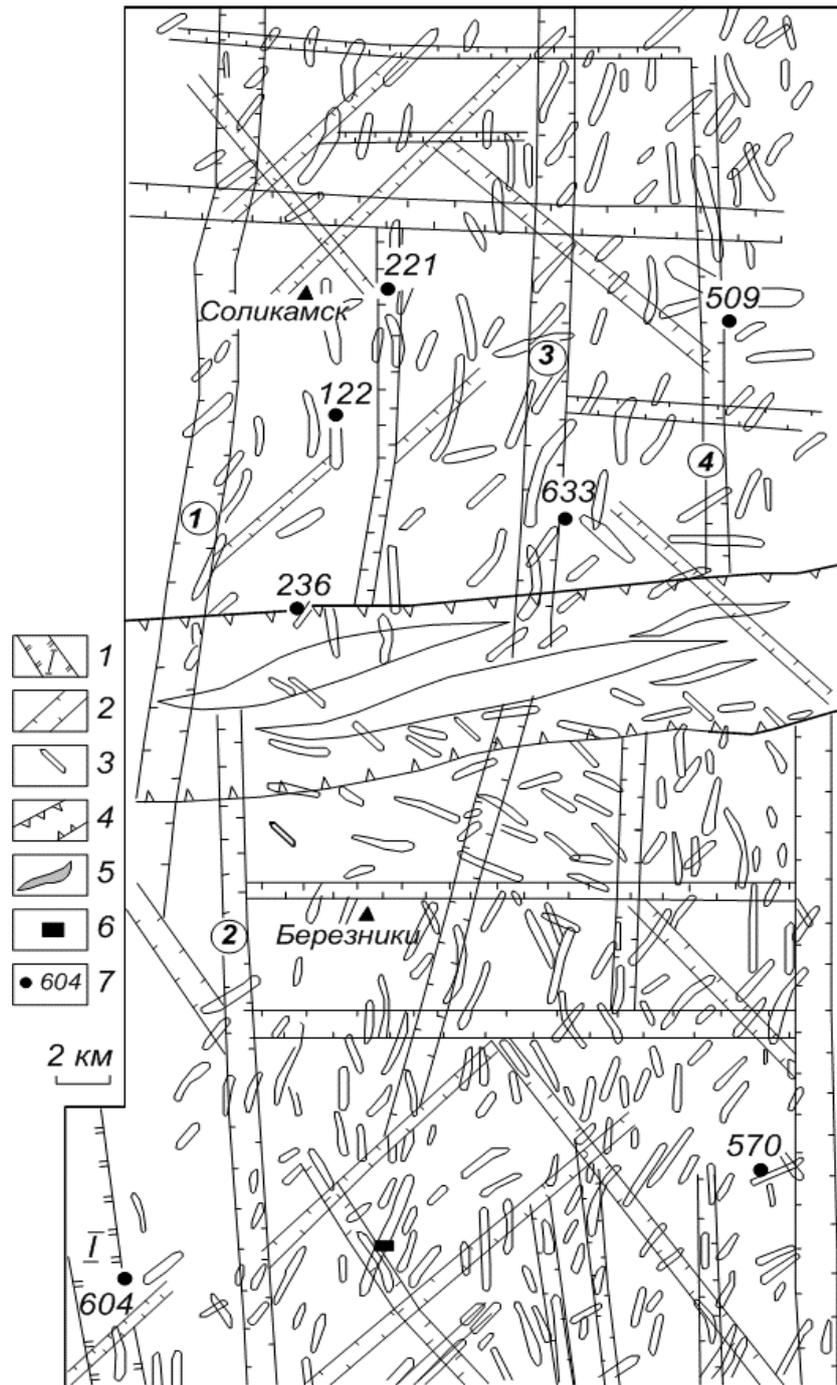
- выделение отрицательных линейных локальных аномалий, обусловленных участками разуплотнения геологической среды;
- определение геологической природы источников отрицательных локальных аномалий, т.е. обоснование выводов о том, что источниками аномалий в геологическом отношении являются трещинные зоны;
- установление параметров трещинных зон: величины разуплотнения пород в пределах трещинных зон и глубин залегания их нижних кромок.

Графически результаты гравиметрической съемки представлены в виде плана изоаномал и в виде плана графиков по профилям, по которым производились измерения силы тяжести. Из анализа плана изоаномал и плана графиков был сделан вывод о том, что картирование слабоинтенсивных аномалий, обусловленных трещинными зонами, следует осуществлять не по плану изоаномал, а по плану графиков остаточного поля, полученного методом осреднения. Этот метод вносит наименьшие искажения в форму и интенсивность выделяемых аномалий и наиболее просто реализуется в вычислительном отношении. Надежность выделения аномалий в этом случае определяется количеством профилей, на которых они проявляются, т.е. задача картирования наиболее уверенно решается путем межпрофильной корреляции аномалий силы тяжести.

По результатам интерпретации аномального гравитационного поля ВКМКС на его территории было закартировано около 200 линейных отрицательных аномалий силы тяжести (рисунок 3) интенсивностью в первые десятые доли мГал, шириной в плане в первые сотни м и протяженностью более 2–4 км, источники которых находятся в основном на глубинах 100–200 м, реже на глубине около 400 м; ориентировка аномалий субмеридиональная, северо-западная, северо-восточная, реже широтная, т.е. соответствующая общему тектоническому плану ВКМКС [5]. Наиболее вероятной геологической природой аномалий являются трещинные зоны, что в ряде случаев было подтверждено данными других геофизических методов сейсморазведки, магниторазведки, электро-разведки методом ВЭЗ в виде зон повышенной электропроводности, в совокупности с геоморфологическими, структурно-геологическими данными и данными физического моделирования.

Опираясь на результаты интерпретации локальных аномалий поля силы тяжести, тектоническую схему ВКМКС (см. рисунок 3) и прогностические признаки, которыми характеризуются эпицентры опасных динамических событий: динамические, тектонические, структурные, геофизические, геоморфологические и горно-технические [3], было осуществлено районирование территории ВКМКС с выделением участков, в пределах которых вероятность совершения опасных динамических событий наиболее высокая (рисунок 4), т.е. в первом приближении решена важнейшая геоэкологическая задача для такой урбанизированной территории с высокой техногенной нагрузкой, какой является территория ВКМКС.

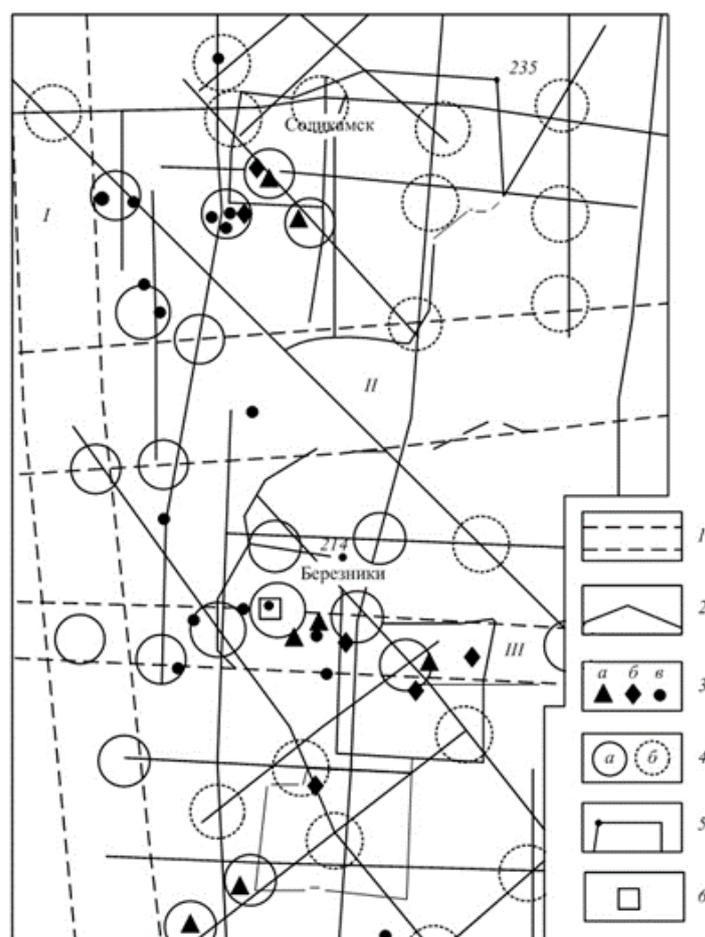
³ Отчет о результатах гравиметрической съемки м-ба 1:25000 Верхнекамской площади, проведенной в 1986–1990 гг. ПГО «Уралгеология». – Свердловск: Фонд ОАО Пермьнефтегеофизика, 1990. – 212 с.



- 1 – Красноуфимский глубинный разлом; 2 – внутриблоковые разломы различных рангов;
 3 – участки повышенной трещиноватости геологической среды по гравиметрическим данным;
 4 – Дуринский прогиб по кровле солей и одноименный глубинный разлом; 5 – интенсивные аномалии силы тяжести, которые обусловлены локальными прогибами в кровле солей в Дуринском прогибе;
 6 – место провала на территории БКРУ-3; 7 – местоположения и номера скважин

Рисунок 3. – Тектоническая схема Верхнекамского месторождения калийных солей и результаты интерпретации гравитационного поля

Совокупность перечисленных признаков или критериев прогнозирования динамических событий носит не случайный характер. Она отражает состояние геологической среды, которая находится под действием двух силовых полей – естественного и техногенного. Невозможно оценить роль и вес каждого признака и информационную полноту всей их совокупности, а также что надо сделать для того, чтобы эта совокупность признаков переросла в свое новое качество – в систему прогностических признаков. Эта проблема пока только обозначена.



1 – разломы: I – Красноуфимский, II – Дуринский, III – Зырянский; 2 – разломные зоны с осевыми линиями; 3 – эпицентры землетрясений (а), сейсмопроявления (б), провалы и участки ускоренного оседания дневной поверхности (в); 4 – границы прогноза динамических событий: выделенные уверенно (а), менее уверенно (б); 5 – скважины и границы шахтных полей; 6 – местоположение аварии на Березниковском руднике БКРУ-1 в октябре 2006 г.

Рисунок 4. – Структурно-тектоническая схема ВКМКС с положением прогнозируемых участков наиболее вероятных динамических событий

Заключение. Прогнозирование динамических событий, приводящих к разрушению водозащитной толщи на ВКМКС, стало возможно только опираясь на единую физико-геологическую основу-модель месторождения, в свойствах которой хорошо проявлены главные элементы тектонического строения геологической среды, характеризующие ее пликативную и дизъюнктивную деформацию. Такими элементами являются, прежде всего, трещинные зоны. В настоящее время из всей совокупности геолого-геофизических методов только с помощью гравиметрии, выполненной в площадном, детальном и высокоточном варианте, было осуществлено картирование локальных аномалий силы тяжести, источниками которых с высокой долей вероятности следует рассматривать трещинные зоны. С помощью других методов геофизики решить эту задачу не представляется возможным по технико-методическим и экономическим причинам.

Выявленные закономерности планового положения локальных аномалий силы тяжести (трещинных зон) позволили сформулировать ряд критериев для прогнозирования динамических событий, опираясь на которые было выполнено районирование территории ВКМКС по динамической опасности. Система критериев прогнозирования, описанная в [9], пока является единственной, т.е. безальтернативной, несмотря на детальное геолого-минералогическое и структурно-тектоническое изучение ВКМКС. Задача дальнейшего изучения тектонического строения ВКМКС заключается в проведении более детальных геофизических исследований, прежде всего гравиметрических (в масштабах крупнее 1:25000), на локальных участках, потенциально опасных на проявление динамических событий, и в разработке альтернативной физико-геологической основы ВКМКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский П.И. Геолого-разведочные работы на калий в Соликамском и Березниковском районах за период с 1 октября 1926 г. по 1 октября 1927 г. // Материалы по общей и прикладной геологии. – 1929. – Вып. 126. – 70 с.

2. Варов А.А. Гидротехнические исследования Прикамского соленосного района // Геологический комитет. Материалы по исследованию соленосного района. – 1928. – Вып. 3. – С. 33–55.
3. Filatov V., Bolotnova L. Generalizing the experience of forecasting dynamic events at the Upper Kama potassium salt deposit according to geological and geophysical data // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. – 2019. – № 4. – С. 61–70.
4. Филатов В.В., Кассин Г.Г., Попов Б.А. Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей // *Изв. вузов. Горный журнал*. – 1995. – № 6. – С. 150–161.
5. Филатов В.В., Болотнова Л.А. О тектоническом плане Верхнекамского месторождения калийных солей по результатам физического моделирования и геолого-геофизическим данным // *Изв. вузов. Горный журнал*. – 2020. – № 5. – С. 38–46. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-38-46.
6. Вишневецкий П.В. Выделение дизъюнктивных нарушений на Верхнекамском месторождении калийных солей по результатам обработки геофизических наблюдений // *Тр. Геолог. ин-та*. – 1970. – Вып. 21. – С. 51–55.
7. Константинова С.А., Чернопазова Н.Н., Гульева А.А. Оценка начальных напряжений в скальном массиве Верхне-Прикамья по блочной иерархической модели // *Журнал горной науки*. – 2001. – Т. 37, № 5. – С. 447–454.
8. Мелководная геофизическая разведка Верхне-Камского месторождения калийных солей / И.А. Санфиоров, Я.И. Степанов, И.Я. Герасимова и др. // *Горный журнал*. – 2013. – Т. 49, № 6. – С. 902–907.
9. Шулаков Д.Я., Бутурин П.Г., Верхоланцев А.В. Сейсмологический мониторинг Верхнекамского месторождения: задачи, проблем, решения // *Горный журнал*. – 2018. – № 6. – С. 25–29. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.05.
10. Bychkov S., Dolgal A., Simanov A. Interpretation of Gravity Monitoring Data on Geotechnical Impact on the Geological Environment // *Pure and Applied Geophysics*. – 2021. – Vol. 178. – P. 107–121. DOI: 10.1007/s00024-020-02640-8.
11. Щербинина Г.П. Реконструкция тектонических элементов по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. / ГИ УрО РАН; под ред. А.А. Барях.* – Пермь, 2018. – Вып. 16. – С. 167–172. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.44.
12. Щербинина Г.П. Выявление разуплотненных участков в водозащитной толще на северо-востоке БКПРУ-4 по гравиметрическим данным // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. / ГИ УрО РАН; под ред. А.А. Барях.* – Пермь, 2012. – Вып. 10. – С. 143–145.
13. Вахрамеева В.А. Трещиноватость соляных пород карналлитовой зоны Верхнекамского месторождения // *Тр. ВНИИГ*. – 1969. – Вып. 35. – С. 251–273.
14. Валеев Р.Н., Вишняков А.К. Тектоника и эпигенез галогенных отложений // *Условия формирования и закономерности размещения месторождений нерудного минерального сырья Европейской части СССР: сб. статей / Казанский ун-т; под ред. Р.Н. Валеева.* – Казань, 1976. – С. 101–129.
15. Филиппов С.А., Наймушина Р.П. Зоны замещения в продуктивных пластах Верхнекамского месторождения // *Советская геология*. – 1988. – Вып. 9. – С. 21–27.
16. Петроплотные основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей / Под ред. Н.М. Джиноридзе. – Соликамск; СПб.: ОГУП, 2000. – 400 с.
17. Филиппов С.А., Корочкина О.Ф. Проявление дизъюнктивной тектоники в продуктивной толще Верхнекамского месторождения калийных солей // *Геотектоника*. – 1990. – № 1. – С. 64–67.
18. Копнин В.И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевого и каменных солей и природных рассолов // *Изв. вузов. Горный журнал*. – 1995. – № 6. – С. 10–43.
19. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – 2-е изд., перераб. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.

REFERENCES

1. Preobrazhenskii, P.I. (1929). Geologo-razvedochnye raboty na kalii v Solikamskom i Bereznikovskom raionakh za period s 1 oktyabrya 1926 g. po 1 oktyabrya 1927 g. *Materialy po obshchei i prikladnoi geologii*, (126), 70. (In Russ.).
2. Varov, A.A. (1928). Gidrotekhnicheskie issledovaniya Prikamskogo solenosnogo raiona. *Geologicheskii komitet. Materialy po issledovaniyu solenosnogo raiona*, (3), 33–55. (In Russ.).
3. Filatov, V. & Bolotnova, L. (2019). Generalizing the experience of forecasting dynamic events at the Upper Kama potassium salt deposit according to geological and geophysical data. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, (4), 61–70.
4. Filatov, V.V., Kassin, G.G. & Popov, B.A. (1995). Geofizicheskie issledovaniya na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliino-magnievyykh solei. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*, (6), 150–161. (In Russ.).
5. Filatov, V.V. & Bolotnova, L.A. (2020). O tektonicheskom plane Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei po rezul'tatam fizicheskogo modelirovaniya i geologo-geofizicheskim dannym [Upper Kama potassium salt deposit tectonic scheme based on physical modeling results and geological and geophysical data]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal]*, (5), 38–46. (In Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-38-46.
6. Vishnevskii, P.V. (1970). Vydelenie diz'yunktivnykh narushenii na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliinykh solei po rezul'tatam obrabotki geofizicheskikh nablyudenii. *Tr. Geolog. in-ta*, (21), 51–55. (In Russ.).
7. Konstantinova, S.A., Chernopazova, N.N. & Gul'eva, A.A. (2001). Otsenka nachal'nykh napryazhenii v skal'nom massive Verkhne-Prikam'ya po blochnoi ierarkhicheskoi modeli. *Zhurnal gornoj nauki*, 37(5), 447–454. (In Russ.).
8. Sanfirov, I.A., Stepanov, Ya.I., Gerasimova, I.Ya. & Nikiforova, A.I. (2013). Melkovodnaya geofizicheskaya razvedka Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei. *Gornyi zhurnal*, 49(6), 902–907. (In Russ.).
9. Shulakov, D.Ya., Buturin, P.G. & Verkholantsev, A.V. (2018). Seismologicheskii monitoring Verkhnekamskogo mestorozhdeniya: zadachi, problem, resheniya [Seismological monitoring at the Upper Kama Potash Deposit: objectives, problems, solutions]. *Gornyi zhurnal [Gornyi Zhurnal]*, (6), 25–29. (In Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.17580/gzh.2018.06.05.
10. Bychkov, S., Dolgal, A. & Simanov, A. (2021). Interpretation of Gravity Monitoring Data on Geotechnical Impact on the Geological Environment. *Pure and Applied Geophysics*, 178, 107–121. DOI: 10.1007/s00024-020-02640-8.
11. Shcherbinina, G.P. (2018). Rekonstruktsiya tektonicheskikh elementov po rezul'tatam kompleksnoi interpretatsii geologo-geofizicheskikh dannykh. In A.A. Baryakh (Eds.) *Strategiya i protsessy osvoeniya georesurov*: sb. nauch. tr. (167–172). Perm: GI Uro RAN. (In Russ.).

12. Shcherbinina, G.P. (2012). Vyuavlenie razuplotnennykh uchastkov v vodozashchitnoi tolshche na severo-vostoke BKPRU-4 po gravimetricheskim dannym. In A.A. Baryakh (Eds.) *Strategiya i protsessy osvoeniya georesurov*: sb. nauch. tr. (143–145). Perm: GI UrO RAN. (In Russ.).
13. Vakhrameeva, V.A. (1969). Treshchinovatost' solyanykh porod karnallitovoi zony Verkhnekamskogo mestorozhdeniya. *Tr. VNIIG*, (35), 251–273. (In Russ.).
14. Valeev, R.N. & Vishnyakov, A.K. (1976). Tektonika i epigenez galogennykh otlozhenii. In R.N. Valeev (Eds.) *Usloviya formirovaniya i zakonmernosti razmeshcheniya mestorozhdenii nerudnogo mineral'nogo syr'ya Evropeiskoi chasti SSSR*: sb. statei (101–129). Kazan: Kazanskii un-t. (In Russ.).
15. Filippov, S.A. & Naimushina, R.P. (1988). Zony zameshcheniya v produktivnykh plastakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya. *Sovetskaya geologiya*, (9), 21–27. (In Russ.).
16. Dzhinoridze, N.M. (Eds.) (2000). *Petroplotnosnye osnovy bezopasnoi ekspluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliino-magnievyykh solei [Petrotectonic fundamentals for safe mining operation in the Upper-KAMA deposit of potash-magnesium salts]*. Solikamsk; S.-Petersburg: OGUP. (In Russ., abstr. in Engl.).
17. Filippov, S.A. & Korochkina, O.F. (1990). Proyavlenie diz'yunktivnoi tektoniki v produktivnoi tolshche Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei. *Geotektonika*, (1), 64–67. (In Russ.).
18. Kopnin, V.I. (1995). Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliinykh, kaliino-magnievyykh i kamennykh solei i prirodnykh rassolov. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*, (6), 10–43. (In Russ.).
19. Kudryashov, A.I. (2013). *Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei*. Moscow: Epsilon Plyus. (In Russ.).

Поступила 25.04.2023

SUBSURFACE GEOECOLOGY OF THE VERHNEKAMSK POTASSIUM SALT DEPOSIT

V. PHILATOV

(Vladimir State University)

K. VANDYSHEVA

(Ural State Mining University, Ekaterinburg)

The geological environment experiences a significant transformation in any type of economic activity in the form of changes in its structure, properties and state. The exploitation of deposits is accompanied by the extraction and movement of huge masses of rock and captures areas of tens and hundreds of square kilometers. Therefore, the problem of safe field operation is geologically relevant.

This work summarizes the experience of studying the complex of geological and geophysical methods of tectonic structure and dynamic events that occurred at the Verkhnekamsk deposit of potassium salts in the Perm Urals, and also the criteria for their prediction are substantiated.

Keywords: Perm Urals, Verkhnekamsk deposit of potassium salts, tectonic dislocations of various rank, gravitational field, prediction of places of occurrence of dangerous dynamic events.