ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 624.131.1:551.252

ФОРМИРОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА В НАДСОЛЯНОЙ ТОЛЩЕ ПОРОД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ В ПЕРМСКОМ КРАЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2019 г. Ю. А. Мамаев[1,*], А. А. Ястребов[1]

[1]Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия
[*]E-mail: mamaev47ya@mail.ru

Поступила в редакцию 20.09.2018 г.

Статья посвящена описанию условий, факторов формирования и характеристике строения и свойств пород уникального геологического объекта на территории Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), а именно: мощной (~90 и более метров) зоны гипергенеза в надсоляной толще переслаивающихся пород терригенной, терригенно-карбонатной и галогенной формаций нижнепермского возраста, перекрывающей соляную толщу мощностью от 300 до 700 м. Приводится краткая история геологического развития территории, обуславливающая особенности ее геологического и структурно-геоморфологического строения. Описываются природные условия и факторы преобразования пород на протяжении миллионов лет. Дается характеристика состава, состояния и свойств пород зоны гипергенеза, в том числе их изменений с глубиной залегания. Это важно для оценки и прогнозирования развития на рассматриваемой территории процессов карстообразования, а также деформаций и провалов земной поверхности.

Ключевые слова: *Верхнекамское месторождение калийных солей, надсоляная толща пород, зона гипергенеза, строение толщ, свойства пород.*

DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-78092019230-37

Территория крупнейшего в Российской Федерации Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) расположена в центре Предуральского краевого прогиба на границе Восточно-Европейской платформы и Уральской складчатой системы. В ходе геологического развития данная территория претерпела несколько циклов тектонической активности, наиболее важными из которых в отношении формирования геологических и структурно-геоморфологических особенностей территории являются герцинский и альпийский циклы [3]. В герцинский период формировались Уральская складчатая система с сетью региональных тектонических нарушений и Предуральская депрессия с Верхнекамской впадиной, прогибание и заполнение которой происходили преимущественно в каменноугольное и пермское время. Обобщенный геологический разрез нижнепермских отложений на территории ВКМКС приведен на рис. 1. Отложения, заполняющие впадину, формировались в условиях мелководного засоленного морского бассейна и жаркого засушливого климата. Они представлены переслаивающимися породами терригенной, терригенно-карбонатной и галогенной формаций. В период существования кунгурского морского бассейна (середина нижней перми P1) сформировалась мощная (300-700 м) толща каменной соли, в верхней части которой образовалась залежь калийных солей мощностью от 60 до 150 м, перекрытая покровной толщей каменной соли мощностью от 15 до 25 м. Глубина залегания верхней границы калийной залежи от земной поверхности колеблется от 150 до 350 м. С конца нижнепермского периода началось общее поднятие, осушение Восточно-Европейской платформы и превращение ее в область денудации. Одновременно шло активное горообразование Урала, Предуральский прогиб углублялся и заполнялся преимущественно континентальными терригенно-карбонатными отложениями, сносимыми с Уральских гор [4]. Слагающие территорию горные породы на протяжении последующих 250 млн лет подвергались экзогенным геологическим процессам – эрозии, разуплотнению, трещинообразованию, выветриванию, растворению, выщелачиванию, формирующим уникальную зону

Геолог. индекс пород	Состав пород	Мощность, м	Особенности разреза
Q	Отложения аллювиального, делювиального, элювиального, пролювиального, флювиогляциального генезиса. Суглинки, глины, супеси, пески разной плотности и влажности	до 20; редко 50	
P_1ss*	Пестроцветная терригенная толща (ПТТ). Переслаивание красноцветных глин, аргиллитов, песчаников и конгломератов с прослоями сероцветных глинисто-карбонатных пород	0-30	
P_1sl_2	Известняки глинистые, мергели с прослоями аргиллитов, алевролитов, известковистых глин и песчаников; преимущественно сероцветные (ТКТ)	60-100	
P_1sl_1	Мергели, глины известковые загипсованные с прослоями ангидрита, каменной соли и включениями пирита (СМТ)	До 120	
	В нижней части СМТ формируются переотложенные породы гипсово-глинистой коры (шляпы) за счет выщелачивания, переноса и отложения сульфатов		Переходная пачка до 27 м
P_1br_4	Покровная перекрывающая толща каменной соли мелкокристаллической мощностью 15-25 м. (ПКС)	15-29	Водозащитная толща (ВЗТ) до 80 м.
P_1br_3	Калийная залежь. Сильвинит-карналлитовая зона (СКЗ). Переслаивание пластов карналлита, пестроокрашенного сильвинита и каменной соли	47-136	Сильвинитовая зона 12-40 м
P_1br_2	Подстилающая толща каменной соли (ПДКС)	До 500	
P_1br_1	Глинисто-ангидритовая толща (ГАТ). Глина темно-серая, чередующаяся с прослоями и линзами ангидритов, известковистых аргиллитов, мергелей с подчиненными прослоями алевролитов, песчаников и каменной соли	130	
P_1ar	Артинский ярус. Терригенный горизонт. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, мергели с линзовидными включениями и тонкими прослоями известняков и доломитов	200 (общая) 50 (терриген.)	
	Артинский ярус. Карбонатный горизонт. Известняки органогенно-обломочные, участками окремнелые с многочисленной фауной	150	
P_1a+s	Ассельско-сакмарский ярус. Известняки серые, кристаллические, прослоями органогенно-детритовые; участками окремнелые, доломитизированные с прослоями доломитов; местами глинистые, битуминозные с фауной брахиопод, фораминифер	300-350	
C_3	Переслаивание пачек доломитов серых, слабоизвестковистых, от глинистых до кристаллических, кавернозных с прослоями известняков и аргиллитов	34-90	

Рис. 1. Обобщенный геологический разрез нижнепермских отложений на территории ВКМКС.

гипергенно измененных горных пород мощностью до 90 м, а на участках крупных тектонических нарушений – и более. Это установлено по данным разведочного бурения и комплексных геофизических работ (рис. 2).

В кайнозойскую эру, особенно в неотектонический этап развития, сформировались современные инженерно-геологические условия исследуемой территории, в том числе основные формы рельефа, структурно-тектонический план, сложная разветвленная эрозионная сеть с врезами древних речных долин глубиной до 120-150 м. На высоких бортах речных долин, сложенных терригенно-карбонатными породами, развивались склоновые, эрозионные, суффозионно-карстовые процессы, а также физического выветривания пород. Неоднократные периоды смены жаркого и засушливого климата способствовали развитию коры физико-химического выветривания с образованием глинистых и песчано-глинистых отложений, заполняющих глубокие эрозионные врезы речных долин.

С конца миоцена (N_1) усилились тектонические и горообразовательные процессы на Урале и в Западном Предуралье, продолжились воздымание исследуемой территории и развитие речной и эрозионной сети, начались похолодание и аридизация климата, усиливающие физическое выветривание горных пород. Возникли условия для многолетнего промерзания пород приповерхностной части геологического разреза, а позднее, в плейстоцене (Q), – для развития континентальных оледенений. Из пяти самостоятельных оледенений на Восточно-Европейской платформе рассматриваемая территория подверглась воздействию самого масштабного Днепровского оледенения (Q_{II}) [4]. Отдельные фрагменты днепровской морены встречены в центре площади ВКМКС,

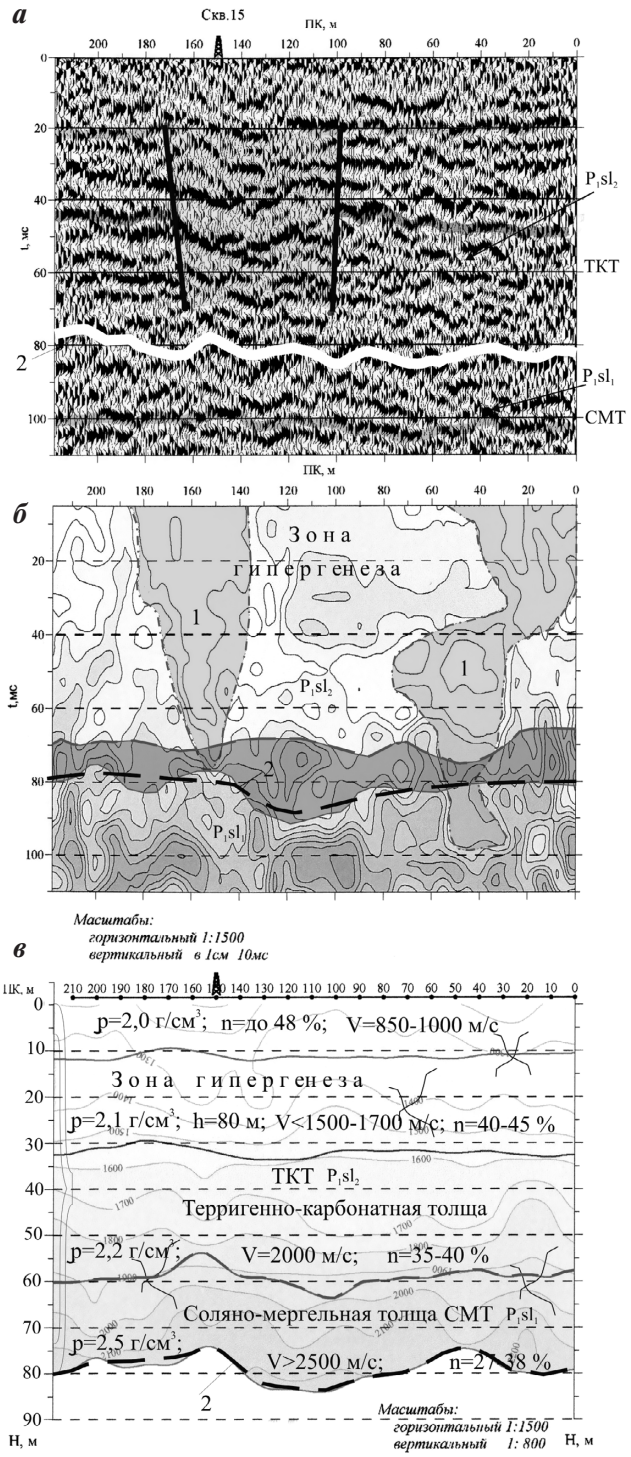

Рис. 2. Строение и характеристики зоны гипергенеза территории ВКМКС по данным геофизических исследований. Результаты цифровой обработки профильных исследований: *а* – временной разрез; *б* – динамический временной разрез; *в* – сейсмогеологический разрез; 1 – условная нижняя граница зоны гипергенеза; 2 – карманы сильно выветрелых, выщелоченных, трещиноватых обводненных коренных пород; характеристики зоны гипергенеза пород: ρ – плотность пород, г/см³; n – пористость, %; V – скорость продольных волн, м/с.

в южной части территории муниципального образования г. Березники. Поступательное движение ледника большой мощности (до 1.5 км) и его последующее отступление оказали статическое и динамическое воздействие на массивы пород, а именно: сначала объемное нагружение массивов на значительную глубину (десятки метров) до значений давлений около 1.0-1.5 МПа, а затем снятие обжимающего давления при таянии и отступлении ледника с разгрузкой напряжений, разуплотнением, увеличением трещиноватости и пустотности массивов пород, повышением их проницаемости и выветрелости. Эти процессы также способствовали развитию зоны гипергенеза. Увеличение водности территории при таянии ледника обуславливало усиление эрозионных и карстово-суффозионных процессов в массивах пород. Движения ледника усиливали денудацию пород за счет разрушения и переноса обломочного материала, что привело к образованию сглаженных и плоских вершин возвышенностей. Экзарационные процессы, по-видимому, привели к удалению некоторой наиболее измененной части пород в приповерхностных горизонтах коры выветривания. Потепление климата в голоцене (Q_{IV}) в период с 7-го до 4-го тысячелетия вызвало оттаивание мерзлых толщ пород, подтопление и заболачивание территорий, усиление процессов выветривания пород.

В геологической истории земли известны периоды, когда содержание диоксида углерода (CO_2) в атмосфере и подземных водах Земли в несколько раз превышало его содержание в настоящее время. Эти периоды приходились на времена после планетарных катастроф – глобальных вулканических извержений, оледенений, столкновений с астероидами, высвобождением газогидратов при резких масштабных снижениях уровня океана и других [1, 5, 10]. Это приводило не только к массовому вымиранию многих видов фауны, но и к активизации карстовых процессов в растворимых породах. Терригенно-карбонатные нижнепермские породы, слагающие с поверхности территорию ВМКС и имеющие возраст около 270 млн лет, несколько раз, примерно 251.2; 200; 149 и 65 млн лет назад, пережили такие периоды, что также отразилось на строении, состоянии и свойствах массивов пород.

На породы надсоляной толщи воздействовали все виды химической агрессивности водных растворов: выщелачивающая, магнезиальная, общекислотная, сульфатная и углекислотная. Углекислотная (карбонатная) агрессивность обычно возникает совместно с выщелачивающей агрессивностью за счет формирования в поровых растворах углекислоты H_2CO_3, которая разрушает карбонатные породы [9]. Этому способствует повышенное

Таблица 1. Результаты лабораторных исследований инженерно-геологических свойств пород (глинистых известняков) для участков, расположенных вне зон разломов

№ скважины	Глубина скважины, м	Плотность породы, г/см^3	Модуль деформации, E, МПа	Прочность сухого образца, Rc, МПа	Прочность водонасыщенного образца, R′c, МПа
18	70.2	2.43	32.0	7.46	5.47
20	74.8	2.45	25.6	6.0	5.10
21	70.0	2.57	19.3	8.33	7.16
25	40.9	2.48	39.4	7.47	4.89

содержание в растворах свободного CO_2, что также приводит к образованию растворимых бикарбонатов кальция, способных к выщелачиванию. Это может ускорять карстовый процесс в десятки раз. Присутствие свободной углекислоты в поровых растворах горных пород может быть обусловлено и диссоциацией метана в водной среде, накопление которого происходит при выщелачивании массивов соляных пород, залегающих на глубине, и дегазации деформируемых тектоническими процессами соляных и надсоляных толщ горных пород. Насыщению массивов горных пород метаном и двуокисью углерода могут способствовать газовые эманации с поверхности месторождений углеводородов, находящихся на территории ВКМКС и залегающих значительно глубже соляной толщи.

В настоящее время широко известны факты существенного влияния микробиологических процессов в массивах пород на изменение их состава, состояния и свойств. Имеются данные, подтверждающие биологическое выветривание пород, обусловленное процессами метаболизма, гниения, брожения, окисления и газовыделения микроорганизмов [2]. Микроорганизмы составляют основу любой биологической (экологической) системы, являясь ее наиболее древней и распространенной в количественном отношении частью. Общая биологическая масса бактерий и микробов в земной коре превышает массу всей биоты на поверхности земли. Мхи, лишайники, бактерии, микробы, грибы и простейшие растения зарождаются, развиваются, распространяются, питаются на горных породах любого петрографического состава, имея предпочтения, обусловленные минеральным и химическим составом пород. Они также развиваются на искусственных строительных материалах и разрушают их. Массивы горных пород, вмещающие залежи минеральных солей, в том числе калийных, являются исключительно благоприятной питательной средой для микроорганизмов. На рассматриваемой территории процессы биологического выветривания горных пород действовали в течение длительного времени и проявляются весьма активно. Пример тому – терригенно-карбонатные породы, залегающие в основании плотины Камского гидроузла (г. Пермь). В ходе плановых обследований тела плотины было обнаружено повышение мутности воды в ее дренажных устройствах, превышающее нормативные показатели. Для выяснения причин был проведен комплекс полевых и лабораторных исследований, которые позволили установить, что мутный осадок, содержащий гидроксид трехвалентного железа, новообразования кальцита, пирита и повышенный уровень органического углерода, возник в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Это доказывало, что в теле плотины происходит трансформация грунтов, в которой принимают участие микроорганизмы [6]. Лабораторные исследования подтвердили, что микроорганизмы в водонасыщенных грунтах тела плотины способны образовывать газы – метан, двуокись углерода, летучие органические соединения, которые выщелачивают железо, кальцит и другие минералы и изменяют свойства пород. Очевидно, что подобные процессы биологического выветривания пород происходят в массивах терригенно-карбонатных пород надсоляной толщи на всей территории Верхнекамского месторождения.

Большое влияние на развитие гипергенных процессов в толщах пород, залегающих с поверхности, оказывают структурно-тектонические особенности территории. В соответствии со схемой современной тектоники земной коры Уральского региона и восточной окраины Восточно-Европейской платформы [5], исследуемая территория относится к пограничным структурам с разломно-блоковым строением. В альпийский, в том числе неотектонический этап развития территории, тектонические движения проявлялись в виде блоковых подвижек вдоль разломов. Это привело к возникновению молодых поднятий и депрессий, изменению рельефа и гидрографической сети территории. В настоящее время, территория ВКМКС является сложно построенной субрегиональной структурой слоистого строения, испытывающей

Таблица 2. Результаты лабораторных исследований инженерно-геологических свойств пород (глинистых известняков) для участков, расположенных в зонах разломов

№ скважины	Глубина скважины, м	Плотность породы, г/см^3	Модуль деформации, E, МПа	Прочность сухого образца, Rc, МПа	Прочность водонасыщенного образца, R′c, МПа
19	60	2.47	31.3	7.7	5.1
23	68	2.39	30.4	6.3	4.4
17	65	2.52	50.0	5.0	2.84
23	40	2.54	59.0	6.9	4.3
24	55	2.54	41.0	7.17	4.84

горизонтальное сжатие со стороны граничащих с ней Восточно-Европейской платформы и дислоцированных складчатых структур Урала. Горизонтальное сжатие соляной толщи большой мощности (до 700 м) приводит к формированию внутри ее зон надвигов, складчатости и трещиноватости, а в кровле – к образованию валообразных и купольных поднятий и мульдообразных впадин. По данным дистанционных, дешифровочных и структурно-геоморфологических исследований в пределах территории месторождения установлено несколько субширотных зон сдвиговых нарушений, разделяющих соляную залежь на несколько крупных локальных блоков, в пределах которых также установлены тектонические нарушения, различающиеся по механизму развития, пространственному положению и масштабами проявления [7]. Граница раздела соленосных и надсоляных отложений сложная, с зонами фациальных замещений и переходов, сформированных в результате процессов их растворения, массопереноса и переотложения подземными водами. В надсоляной толще пород с поверхности до глубины 90 м, а по сильно трещиноватым зонам тектонических нарушений на глубины до 200 м и более развита мощная зона гипергенеза пород, в пределах которой в условиях высокоагрессивной и динамичной среды сильно минерализованных подземных вод активно развиваются процессы разгрузки напряжений, выветривания, выщелачивания, трещинообразования и карстообразования. Наличие в геологическом разрезе территории толщ сульфатных, карбонатных и галоидных пород обуславливает широкое развитие многочисленных и разнообразных суффозионно-карстовых форм (понижения, воронки, провалы, колодцы, пещеры и др.). На их формирование в толщах растворимых пород большое влияние оказало наличие древней долины Пра-Камы глубиной до 150 м. Высокие береговые склоны долины и глубокое заложение базиса эрозии (базиса карста) способствовали развитию здесь карстовых форм придолинного типа, поражающих массивы пород на глубину, значительно большую, чем современный базис эрозии. Подземные карстовые формы – полости, зоны разрушенных трещиноватых брекчиевидных пород и доломитовой муки, встречены горными выработками на глубинах от 8 до 150 м и глубже. К ним также относятся многочисленные литогенетические и тектонические трещины, расширенные выщелачиванием до карстовых каналов.

Горные породы выделенных по петрографическому составу отдельных надсоляных толщ (пестроцветная толща; терригенно-карбонатная толща, ТКТ; соляно-мергельная толща, СМТ) изначально имели существенно разные и сравнительно высокие показатели физико-механических свойств, но в результате воздействия процессов гипергенеза они превратились в массивы горных пород, состоящие из блоков, пакетов и плит горных пород разного объема, слабосцементированных, растворимых (промытых), сильно измененных, трещиноватых, макропористых, закарстованных, проницаемых, с ослабленными структурными связями и значительно сниженными показателями прочности и деформируемости.

Инженерно-геологический анализ результатов определения физико-механических свойств горных пород на данной территории [8] не позволил установить закономерности их изменений в зависимости от петрографического состава и (или) глубины залегания в пределах зоны гипергенеза, что подтверждается близкими значениями осредненных результатов лабораторных исследований образцов, отобранных с разных глубин и мест опробования (табл. 1, 2). В геологических колонках скважин в пределах зоны гипергенеза зафиксированы интервалы разуплотненных пород мощностью до 6.0 м. Породы представлены глинистым известняком – слабым, сильнотрещиноватым, с субвертикальной и субгоризонтальной ориентировкой трещин. На поверхности трещин отмечены налеты черно окрашенных окислов и бурых гидроокислов железа, что говорит о фильтрации

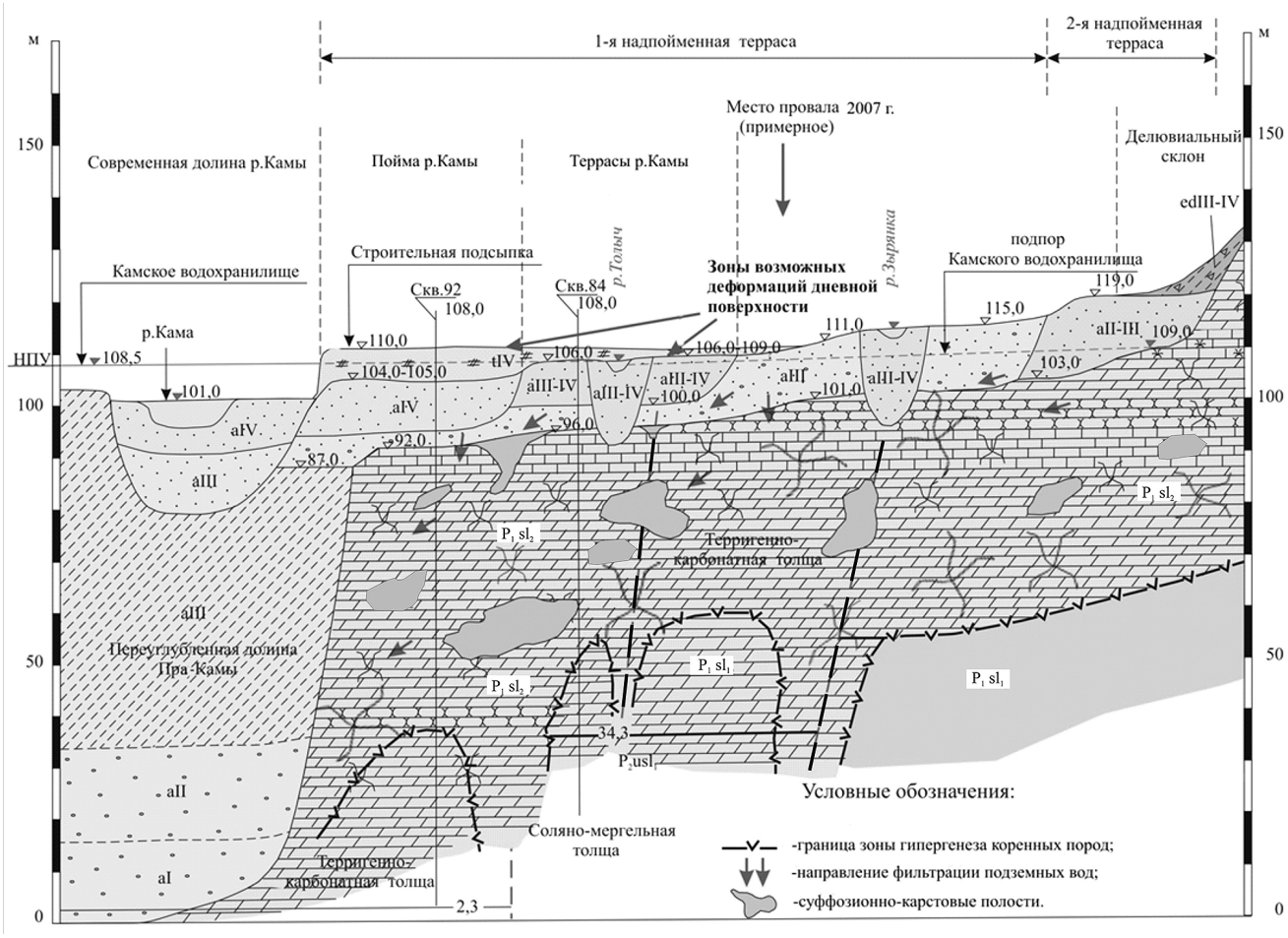

Рис. 3. Схематический разрез зоны гипергенеза в надсоляной толще нижнепермских пород ВКМКС.

подземных вод в массивах пород. Трещинное пространство заполнено преимущественно дресвяно-щебенистым материалом, представленным глинистыми известняками. Заполнитель – глинистый и суглинистый. В отдельных интервалах мощностью до 2 м, расположенных на разных глубинах, при бурении отмечены увеличенные скорости проходки и провалы бурового инструмента на 0.1-0.4 м, что свидетельствует о наличии пустот в массиве. На это указывают и вывалы пород из стенок скважин при бурении с “прихватами” бурового инструмента.

По данным бурения и геофизических работ, установленная приповерхностная зона гипергенно измененных пород условно может быть разделена на две подзоны, а именно: верхнюю – более выветрелых трещиноватых и выщелоченных пород мощностью около 40-45 м со скоростями распространения продольных упругих волн Vp=1000-1500 м/с, и нижнюю – менее измененных пород, имеющих скорость Vp=1600-2000 м/с (рис. 3).

Комплексный каротаж скважин в интервале глубин 20-80 м позволил получить количественные значения показателей, характеризующих строение и состояние (качество) геологической среды в зоне гипергенеза [8]. Например, влагосодержание глинистых известняков, преобладающих в геологическом разрезе, по градуировочной зависимости изменяется от 45 до 60%, что указывает на их водонасыщенное состояние. Объемный вес (плотность влажного грунта) известняков увеличивается с глубиной от 2.1 до 2.5 г/см^3. Пористость пород в верхней части гипергенной зоны до глубин 35-40 м изменяется от 35 до 45%, редко 48%, а глубже колеблется от 27 до 38%. При этом пустотность толщи может достигать в верхней части 68% и больше, а в нижней (более сохранной) – не превышает 46-48%. Интенсивность трещиноватости пород по боковому каротажу стенок скважин составляет в верхней подзоне более 10 у.е., а в нижней колеблется в пределах 4-6 у.е., т.е. в 2 раза меньше. В процессе бурения скважин отмечались случаи вывалов пород из стенок стволов скважин. При бурении до глубин 36-45 м диаметры скважин менялись от 140 до 170 мм, а ниже изменения диаметров скважин составляли 132-140 мм. В геологическом разрезе скважин в интервалах

глубин 20-80 м установлены более 10 интервалов сильно водопроводящих пород, при опробовании которых дебиты интервалов колебались от 12 до 20 м^3/сут. Важно отметить, что показанные выше закономерности изменений с глубиной отдельных показателей, характеризующих строение и состояние надсоляной толщи, существенно не отражаются на значениях физико-механических свойств горных пород определенных на образцах, что подтверждается результатами их лабораторных испытаний (табл. 1 и 2).

Особое значение в массивах горных пород надсоляной толщи имеют зоны крупных тектонических нарушений, характеризующиеся высокой трещиноватостью, раздробленностью и проницаемостью пород. Данные зоны являются путями сосредоточенной фильтрации и каналами проникновения агентов выветривания пород.

В них активно развиваются суффозионно-карстовые процессы, а также процессы растворения, массопереноса и переотложения солей (сульфатов, карбонатов, галоидов). С последними непосредственно связаны процессы формирования переотложенных слоев сульфатных, карбонатных, реже глинистых пород (коры, соляно-глинистых “шляп”, соляных “зеркал”). Кроме того, провалы, случившиеся на подработанных территориях ВКМКС в 1986, 2007, 2010, 2011, 2014 и 2015 гг., расположены в линейно вытянутых зонах крупных тектонических нарушений. Разница лишь в том, что провалы 2007, 2010 и 2011 гг. находятся в долине р. Камы в зоне субмеридионального разлома, ориентированного параллельно коренному береговому склону, а три других провала образовались на плосковершинных возвышенностях Зыряновского (1986 г.), Соликамского (2014 г.) и Березниковского (2015 г.) поднятий в зонах тектонических разломов, пересекающих долину р. Камы. Все провалы расположены вдоль левого борта долины р. Камы на дистанции около 34 км в разных структурно-геоморфологических условиях, но глубины всех сформировавшихся провалов земной поверхности составляют 80-90 м, что соответствует глубине залегания нижней границы зоны гипергенеза на рассматриваемой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В трещиноватой, выветрелой, ослабленной части геологического разреза, на подработанных горными выработками территориях продолжают активно развиваться суффозионные и карстовые процессы, приводящие к деформациям и провалам земной поверхности. При оценке и прогнозировании опасных провальных явлений большое значение имеет изучение современных инженерно-геологических условий территорий, в том числе воздействий экзогенных геологических процессов, включая выветривание горных пород, на их состав, состояние и свойства. Это может обеспечить принятие правильных строительных и инженерных решений, обеспечивающих устойчивость подработанных массивов горных пород и безопасность объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баренбаум А.А.* Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М.: ГЕОС, 2002. 394 с.
2. *Болотина И.Н., Сергеев Е.М.* Микробиологические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология. 1987. №5. С. 3-17.
3. Геологические памятники Пермского края. Энциклопедия/ Под общ. ред. И.И. Чайковского. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2009, 616 с.
4. Инженерная геология СССР: в 8-ми томах: Т. 1. Русская платформа. М.: Изд-во МГУ, 1978. 528 с.
5. *Короновский Н.В.* Общая геология: учебник. 2-е изд. М.: Книжный дом «Университет», 2010. 552 с.
6. *Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т.* Изменения инженерно-геологических условий под действием микроорганизмов /Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в РФ. Матер. 9-й Общерос. конф. изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг», 2013. 204 с.
7. *Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Формирование и особенности структурно-тектонического плана территории Верхнекамского месторождения калийных солей в Пермском крае РФ //Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Вып.19. М.: РУДН, 2017. С. 523-529.
8. *Осипов В.И., Барях А.А., Санфиров И.А., Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Гидрогеомеханические условия формирования карстовых провалов на территории калийных рудников в г. Березники Пермского края// Геоэкология. 2016. № 2. С. 142-148.
9. *Осипов В.И., Зверев В.П., Костикова И.А., Мамаев Ю.А.* О гидрохимических особенностях взаимодействия воды и пород в Верхнекамском соленосном бассейне //Геоэкология. 2014. №5. С. 404-409.
10. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.

REFERENCES

1. Barenbaum, A.A. *Galaktika, Solnechnaya Sistema, Zemlya. Sopodchinennye protsessy i evolyutsiya* [Galaxy, the Solar System, and the Earth. Hierarchical processes and evolution]. Moscow, GEOS, 2002, 394 p. (in Russian)

2. Bolotina, I.N., Sergeev E.M. Microbiological research in engineering geology. *Inzhenernaya geologiya*, 1987, no. 5, pp. 3-17 (in Russian)
3. *Geologicheskie pamyatniki Permskogo kraya. Entsiklopediya* [Geological monuments of the Perm krai. Encyclopedia] I.I. Chaikovskii, Ed., Perm, Mining Institute Ural Branch RAS Publ., 2009, 616 p. (in Russian)
4. *Inzhenernaya geologiya SSSR. T.1. Russkaya platforma* [Engineering geology of the USSR. Vol. 1. The Russian platform]. Moscow, Moscow State Univ. Publ., 1978, 528 p. (in Russian)
5. Koronovskii, N.V. *Obshchaya geologiya. Uchebnik* [General geology. Manual]. 2d edition, Moscow, Knizhnyi dom "Universitet" Publ., 2010, 552 p. (in Russian)
6. Maksimovich, N.G., Khmurchik, V.T. *Izmeneniya inzhenerno-geologicheskikh uslovii pod deistviem mikroorganizmov* [Changes in engineering geological conditions under the influence of microorganisms*]. Materialy 9i Obshcherossiiskoi konf. "Perspektivy razvitiya izyskanii v stroitel'stve f RF* [Proc. of the 9th All-Russia Conference on the Prospects in Survey Development in Construction in Russia]. Moscow, Geomarketing Publ., 2013, 204 pp. (in Russian)
7. Mamaev, Yu.A., Yastrebov, A.A. *Formirovanie i osobennosti strukturno-tektonicheskogo plana territorii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei v Permskom krae RF* [Formation and structural-tectonic specifics of the Verkhnekamskoe potassium salt deposit territory, Perm krai, Russia]. *Sergeevskie chteniya, vyp. 19,* Moscow, RUDN, 2017, pp. 523-529 (in Russian).
8. Osipov, V.I., Baryakh, A.A., Sanfirov, I.A., Mamaev, Yu.A., Yastrebov, A.A. Hydrogeomechanical conditions of karst sinkhole formation in the area of potassium mines in Berezniki town, Perm krai. *Geoekologiya,* 2016, no. 2, pp. 142-148 (in Russian)
9. Osipov, V.I., Zverev, V.P., Kostikova, I.A., Mamaev, Yu.A. Hydrogeochemical features of water-rock interaction in Verchnekamskii saliferous basin. *Geoekologiya,* 2014, no. 5, pp. 404-409 (in Russian)
10. Sorokhtin, O.G., Ushakov, S.A. *Razvitie Zemli* [Development of the Earth]. Moscow, MSU Publ., 2002, 506 p. (in Russian)

FORMATION AND STRUCTURE OF HYPERGENESIS ZONE IN THE ABOVE-SALT LAYER OF THE VERKHNEKAMSKOE POTASSIUM SALT DEPOSIT, PERM KRAI, RUSSIA

Yu. A. Mamaev[1,*], A. A. Yastrebov[1]

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

The paper describes the formation conditions and factors, as well as the structure and properties of rocks at the unique geological object within the Verknekamskoe potassium salt deposit, i.e., more than 90-m-thick zone of hypergenesis in the above-salt massif of interbedding terrigenous, terrigenous-carbonate and halogen deposits of lower Permian age, which covers the salt horizon of 300-700 m thickness. The geological history of the area is described in brief, which controls its geological and geomorphological structural features. The natural conditions and rock-transforming factors operating for millions of years are discussed. The composition, state and properties of rock in the hypergenesis zone are characterized, including their changes with the depth. This is important for the assessment and prediction of karst development in the considered area, as well as surface deformations and collapses.

Keywords: *Verkhnekamskoe potassium salt deposit, above-salt layer, hypergenesis zone, structure of massif, rock properties.*

DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-78092019230-37