

УДК: 553.63, 550.834, 624.131

Уточнение тектоники Верхнекамского месторождения солей по данным сейсморазведки

Р. И. Царев^{a, b}, Д. С. Грибков^a, А. М. Пригара^a, А. А. Жуков^a,
В. Э. Миннигузин^a

^a АО «ВНИИ Галургии»

614002, Пермь, ул. Сибирская, 94

^b ФГАОУ ВО «ПГНИУ»

614068, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: roman.tsarev@uralkali.com

(статья поступила в редакцию 03.07.2025 г.)

В результате сейсморазведочных исследований последних лет были получены новые сведения о тектонике Верхнекамского месторождения солей. Эти данные относятся к западной краевой части юга месторождения, которая характеризуется сложным геологическим строением. Здесь встречены признаки дизъюнктивных дислокаций, высокоинтенсивные пликативные дислокации, участки растворения солей, литофациальные переходы и выклинивание калийной залежи. Скорректированы границы и положение таких структур, как Камско-Вишерский вал и Камский прогиб.

Ключевые слова: *сейсморазведка, соляная тектоника, Камско-Вишерский вал, Камский прогиб, Красноуфимский разлом, литофациальный переход, растворение солей, выклинивание калийной залежи*

DOI: 10.17072/psu.geol.25.1.45

Введение

В последние годы по результатам геологоразведочных работ получен большой объем данных о геологическом строении и тектонике юго-западной части Верхнекамского месторождения солей (ВКМС). В рамках поисково-оценочных работ проводились сейсморазведочные работы методом отраженных волн по методике общей глубинной точки (МОВ МОГТ), которые позволили уточнить геологическое строение в межскважинном пространстве и на краевой части месторождения. Скорректированы границы основных структур и уточнено геологическое строения юго-западной части ВКМС.

Объект исследований

Объектом изучения является галогенная формация, которая на участке исследований залегает в интервале глубин от первых сотен метров до 1 км. Участок обладает рядом

особенностей, характерных для южных краевых частей месторождения, но в целом имеет типичное для ВКМС строение, которое было описано в работах (Иванов, 1975; Кудряшов, 2013).

Изучением тектоники месторождения занимались специалисты Геолкома, ВСЕГЕИ, ВНИИГ, ПГТУ, Чашкинской геологоразведочной партии и ГИ УрО РАН. Особый вклад в изучение тектоники внесли А. И. Белоликов, С. Д. Гемп, Б. М. Голубев, Н. М. Джиноридзе, П. И. Преображенский, А. А. Иванов, С. Ю. Квиткин, В. И. Копнин, А. И. Кудряшов, М. П. Фивег, В. И. Раевский, Б. И. Сапегин, Ю. А. Плотников, И. И. Чайковский. Вместе с тем единого общепринятого представления о тектонике ВКМС до сих пор не сформировалось.

В структурно-тектоническом отношении в направлении с запада на восток на участке отмечаются две субмеридионально вытянутые структуры – Сыньвинская брахиантклираль и Романовская брахисинклираль, которые осложняют более крупные регио-

© Царев Р. И., Грибков Д. С., Пригара А. М., Жуков А. А., Миннигузин В. Э., 2026



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

нальные структуры – Камско-Вишерский вал и Камский прогиб, являясь их частью (рис. 1). Наряду со структурными особенностями, установленными на региональном уровне, выявлено наличие складок различных порядков, что подтверждается данными бурения непосредственно на рассматриваемой территории. На фоне пологого залегания пластов в пределах рассматриваемого участка по керну скважин залегание отдельных соляных слоев изменяется от 5 до 45°, а местами угол их падения достигает 75° и более, вплоть до субвертикального.

Кроме того, возможно наличие разрывных нарушений около западной границы участка в пределах Камско-Вишерского вала. Так, результаты бурения скважины на северо-западе участка (рис. 1), не вскрывшей калийную залежь и приуроченной к Камско-Вишерскому валу, показали, что в ее разрезе имеются признаки разрывного нарушения. Основанием для этого послужило двукратное повторение разреза в интервалах переходной пачки (ПП), покровной каменной соли (ПКС) и в подстилающей каменной соли (ПдКС).

Признаки наличия разрывных нарушений на изучаемом участке, выраженные интенсивной складчатостью отдельных интервалов разреза соляной толщи, обнаружены в солеразведочных скважинах (рис. 1).

Методика

Сейсморазведочные 2D-исследования проведены методом МОВ МОГТ. В состав регистрирующей аппаратуры входило от 144 до 204 геофонов с вертикальной осью чувствительности. Система наблюдений преимущественно центральная. При возбуждении упругих колебаний применялся взрывной источник. Возбуждения производились в шпурах глубиной 2 м, диаметром 0,06 м. Взрывчатое вещество аммонит БЖВ в виде патронов массой 200 г погружалось на забой. Шпуры тампонировались грунтом. Геофоны плотно устанавливались в грунт на глубину 0,1 м. Регистрация сигнала выполнялась одиночными датчиками, шаг дискретизации – 0,0005 с, длина записи – 1 с в открытом канале. Шаг пунктов приема по профилю составлял 5 м, шаг пунктов

возбуждения – 10 м, длина расстановки изменялась от 715 до 1015 м в зависимости от количества геофонов.

Процесс обработки материалов включал стандартные процедуры обработки (Бондарев, 2007; Yilmaz, 2001), при этом граф и параметры процедур были модифицированы для детальной обработки целевого интервала глубин (Царев, 2022; Царев и др., 2021). Особую роль в обработке и интерпретации данных играло привлечение материалов вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и акустического каротажа (АК). Расчет статических поправок производился на основе сейсмогеологической модели, построенной по данным сейсмотомографии и высокоточной топографо-геодезической съемки. Для повышения достоверности и обоснованности выделяемых границ использовалось моделирование на основе данных ГИС.

Результаты

На сейсмических разрезах выделяются структурные особенности в геологическом строении исследуемых участков (рис. 2). В интервале от 50 до 150 мс на временных разрезах залегает соляно-гипсовое зеркало (СГЗ). В интервале от 150 до 300 мс – ПдКС, в которой выделяются: пласт «маркирующая глина» (МГ) и кровля нижней переходной пачки (кНПП). В интервале от 300 до 550 мс проявляются кровля глинисто-ангидритовой пачки (кГАТ) и кровля артинских терригенных отложений (кАТ).

Качественные разрезы позволяют выделить основные структурные особенности западной части юга ВКМС: прогиб соляной толщи в центральной части участка с уменьшением временной мощности; поднятие соляной толщи на западе участка с относительным увеличением временной мощности; зону потери корреляции осей синфазности на западе участка, соответствующую воздыманию пластов в основании галогенной формации; локальные поднятия в нижней части соляной толщи в центральной и западной частях участка; смещение и разрыв осей синфазности в основании галогенной толщи в центральной и западной частях участка.

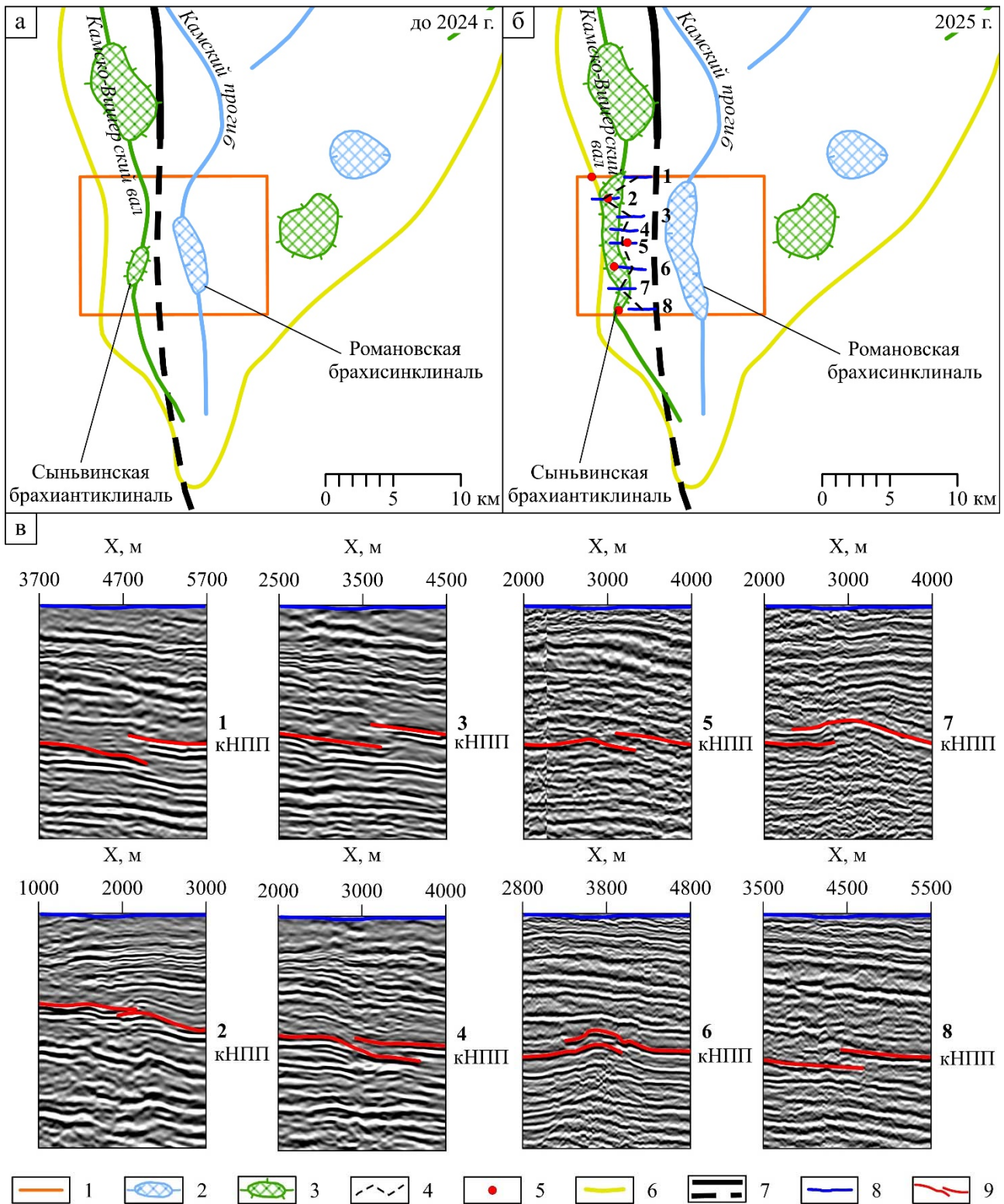


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема ВКМС по (Кудряшов, 2013; Сапегин и др., 1981) с дополнениями (а – до уточнения, б – после уточнения) и участки сейсморазведочных разрезов (в). 1 – площадь исследований; 2 – отрицательные структуры; 3 – положительные структуры; 4 – зона соляной тектоники; 5 – скважины, вскрывшие на площади исследования, удвоение разреза или интервалы складчатости; 6 – граница калийной залежи; 7 – Красноуфимский (Суксунский) разлом по (Геол. карта РФ, 2015), достоверный (сплошная линия) и предполагаемый (пунктирная линия); 8 – участок сейсморазведочного профиля; 9 – дислокации в подошве соляной толщи

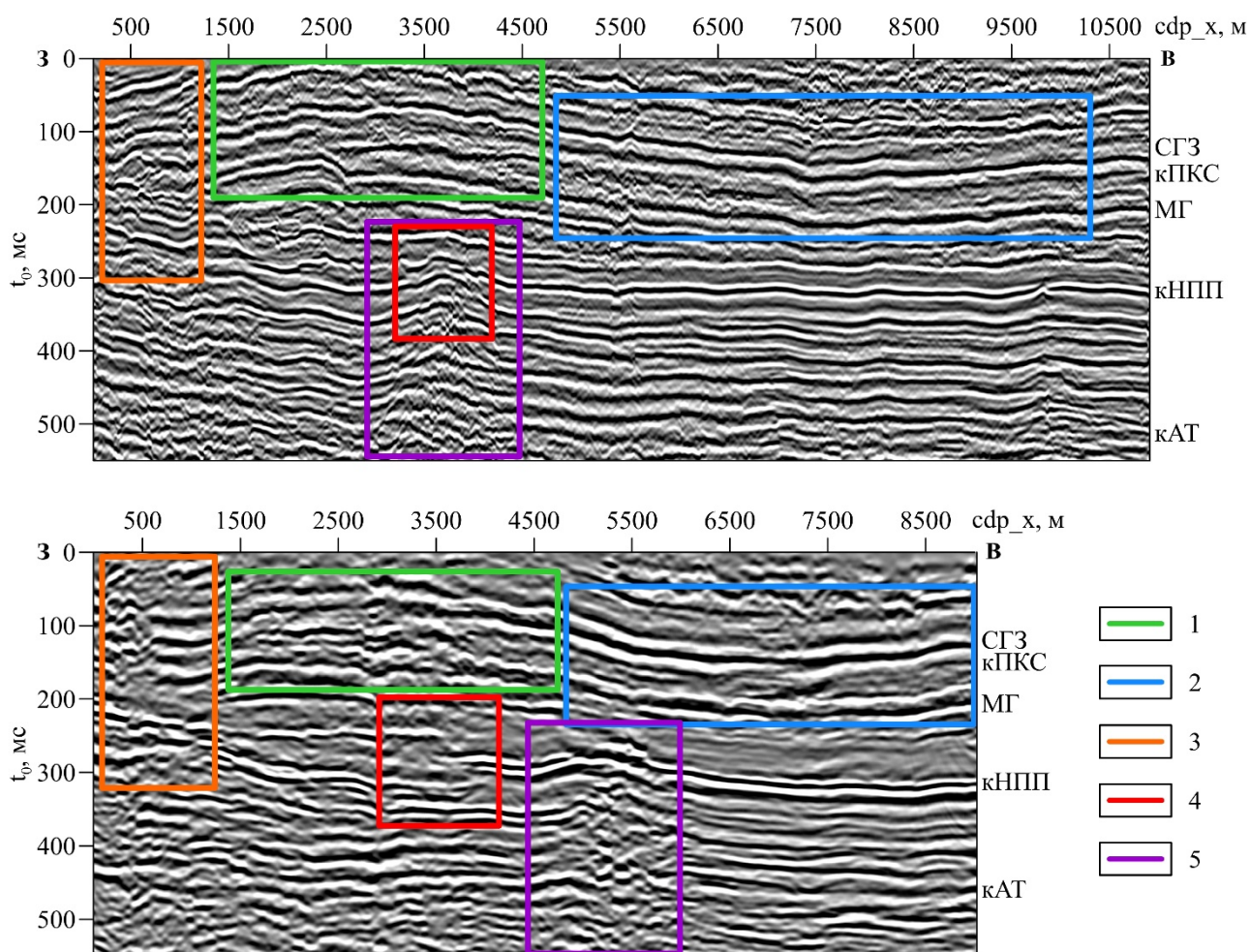


Рис. 2. Временные разрезы по широтным профильным линиям. 1 – Камско-Вишерский вал (аномалия II типа); 2 – Камский прогиб; 3 – зона уменьшения мощности соляной толщи (аномалия I типа, выклинивание калийной залежи); 4 – зона соляной тектоники, связанная с Красноуфимским разломом (аномалия III типа); 5 – локальное антиклинальное поднятие, связанное с глубокими рифовыми постройками (аномалия IV типа)

Геологическая интерпретация

Особое значение в интерпретации данных сейсморазведки играет определение положения соляно-гипсового зеркала. СГЗ прослеживается по первому сверху выдержанному и достаточно мощному пласту каменной соли или гипса (ангидрита, глины), при этом не является стратиграфическим уровнем. Предполагается, что на западе ВКМС, в районе Камско-Вишерского вала, каменная соль в ритмах ПП фациально сменяется гипсом, в результате чего отражающая граница от соляно-гипсового зеркала без изменений переходит с каменной соли на гипсовую породу (рис. 2).

Фациальная изменчивость эвапоритовых отложений вполне закономерна (Sonnenfeld,

1984; Трапезников, 2018; Чайковский, 2014). Фациальные переходы, особенно в краевых частях соляных месторождений, в том числе на ВКМС, изучены слабо из-за отсутствия обнажений и редкой сети скважин. В интервале СМТ нет четких видимых реперов, позволяющих однозначно коррелировать ритмы ПП без привлечения комплексного анализа данных ГИС и результатов лабораторных исследований.

Часть ритмов в СМТ сложена не каменной солью, а гипсом, ангидритом или гипсосодержащей породой. Гипс, так же как и каменная соль, резко отличается по своим физико-механическим свойствам от вмещающих карбонатно-терригенных пород и при достаточной мощности может выделяться по результатам сейсморазведки.

В интервале СМТ по сейсмическим разрезам отмечается один, чаще два, более или менее четких отражающих горизонта, которые можно ассоциировать с каменной солью или прослоями сульфатсодержащих пород. Можно предположить, что они соответствуют интервалам ритмопачек с I по V и с VI по VIII в разбивке (Третьяков и др., 1981) или интервалам ритмопачек с I по V и с VI по IX в разбивке (Трапезников, 2018).

Результаты сейсморазведки позволили уточнить положение Камско-Вишерского вала, Камского прогиба и осложняющих их локальных структур: Сыньвинской брахиантиклинали и Романовской брахисинклинали. На западе участка по уменьшению мощности интервала МГ – СГЗ уточнен контур калийной залежи. По отражающим границам СГЗ, МГ, кНПП отмечается субмеридиональная ориентировка основных структур с понижением в районе Камского прогиба и плавным повышением в западном направлении в сторону Камско-Вишерского вала.

На сейсмических разрезах довольно четко выделяется средняя пачка ПдКС, зажатая между отражающими горизонтами МГ и кНПП. Для большей части участков мощность средней пачки ПдКС находится в пределах от 195 до 300 м с минимумами по центру участка вблизи оси Камского прогиба. Наибольшие мощности отмечаются вблизи Камско-Вишерского вала и на востоке участка. На западе, в районе развития соляной тектоники, мощность пачки резко уменьшается до первых десятков метров, что связано с выклиниванием калийной залежи и соляной толщи в целом.

Соляная тектоника

По результатам геологической интерпретации данных сейсморазведки выделено 4 типа крупных структурных аномалий, которые значительно уточняют представление о тектонике месторождения.

Аномалия I типа выделена вблизи западной границы участка, характеризуется отсутствием калийной залежи и уменьшением мощности в интервале от кровли солей до пласта МГ (рис. 2). Район, приуроченный к Камско-Вишерскому валу, глубоко прора-

ботан гипергенными процессами и, как следствие, характеризуется отсутствием каменной соли в ПП и выходом на соляное зеркало покровной каменной соли.

Аномалия II типа выделена на западе участка и в плане представляет собой область, примыкающую к контуру выклинивания калийной залежи, описанной выше аномалии I (рис. 2). Рассматриваемая аномалия прослеживается по смене характера отражений по кНПП, МГ и кровле солей по всем широтным профилям и может быть интерпретирована как зона высокоамплитудных складчатых дислокаций, что характерно для участка, приуроченного к осевым и склоновым частям положительных структур.

Согласно геологической карте (Геологическая карта, 2015), вблизи западной границы ВКМС в меридиональном направлении располагается Красноуфимский (Суксунский) разлом (рис. 1), характеризующийся крутым (около 85°) восточным падением сместителя с амплитудой смещения от 80 до 100 м. Отмечается, что в последние годы на месте сброса стал изображаться флексуобразный изгиб пород чехла.

По результатам проведенных сейсморазведочных работ по всем широтным профилям отмечается смена характера отражений с ровного субгоризонтального на востоке участков на прерывистый, смещенный и складчатый в центральной – западной частях, что может указывать на влияние разрывных нарушений, входящих в зону Красноуфимского регионального разлома. В интервале соляной тощи зафиксированы складки амплитудой до 35 м.

По результатам бурения в районе аномалии II типа нехарактерное строение калийной залежи установлено во всех скважинах этой области. В некоторых скважинах встречена сильвинитизация либо замещение всех продуктивных пластов карналлитовой породы каменной солью. По керну в интервале калийной залежи отмечены складки с углами падения до субвертикальных, которые косвенно могут быть связаны с влиянием разрывной тектоники либо с комплексом соляной тектоники и фациальных изменений в отложениях вблизи западной границы Соликамской впадины. Близость рассматриваемой аномалии к контуру выклинива-

ния калийной залежи, выпадение из разреза верхних частей водозащитной толщи (ВЗТ) вследствие ее эродированности влекут за собой уменьшение мощности ВЗТ.

Наличие высокоамплитудных осложнений по кровле солей, интерпретируемых как признаки эрозии на соляном зеркале, может повлечь за собой и более значительное уменьшение мощности ВЗТ на локальных участках. Похожая картина, согласно данным сейсморазведки, уже выделялась ранее на площадях со схожими тектоническими условиями (поднятие с неполным разрезом ВЗТ и гипергенез верхней части соляной толщи) и была заверена результатами проходки вертикальных горных выработок и бурения.

Осложнение волновой картины на западе участка может быть связано с влиянием разрывного нарушения (в данном случае Красноуфимского разлома). Вместе с тем подобную картину в поведении отражающих горизонтов могут создавать широтные литофациальные изменения в пермских и более древних отложениях. Единичные нарушения и нетипичные разрезы, подсеченные скважинами, свидетельствуют о наличии разрывно-складчатых дислокаций в интервале соляной толщи. Однако прослеживаемость этих дислокаций за пределы соляной толщи остается под вопросом и нуждается в дополнительных подтверждениях.

Аномалия III типа выделена на юго-западе участка и в структурном плане приурочена к восточному склону Камско-Вишерского вала. Рассматриваемая аномалия характеризуется потерей корреляции по отражению от кНПП и проявляется в интервале разреза нижней пачки ПдКС и ГАТ (рис. 2). Природа этой аномалии может быть связана с интенсивной соляной тектоникой в западной части ВКМС. От описанной выше аномалии II типа она отличается тем, что проявление ее не отмечено в интервалах ВЗТ и зоны промышленных пластов. Она охватывает лишь нижнюю часть ПдКС и ГАТ. Аномалия III типа, вероятно, обусловлена смещениями, связанными с Красноуфимским разломом или проявлениями соляной тектоники.

На всем протяжении субширотных профилей по пластам нижней пачки ПдКС и толще ГАТ прослеживается зона сложной тектоники. На расстоянии всего 10 км с юга на север тип дислокаций в этой зоне значительно меняется (рис. 1). По отражающим границам проявляются локальные поднятия и прогибы, сдвиги амплитудой до 100–150 м и разрывы по латерали. Ширина этой зоны составляет от 1 до 2 км. Положение зоны от оси предполагаемого Красноуфимского разлома (Геол. карта РФ, 2015) – западнее на 1–2 км (рис. 1).

Поскольку нарушения в отражающих горизонтах восточнее Камско-Вишерского вала пролеживают только на уровне подошвы соляной толщи, а ниже ГАТ отражающие горизонты прослеживаются без нарушения сплошности, то, возможно, такая картина связана с подвижками на уровне ложа соляной толщи. Вероятно, такие подвижки могли привести к образованию Камско-Вишерского вала.

Аномалия IV типа представлена серией локальных областей в пределах участка, выявленных в интервале разреза нижней части ПдКС и глубже и ассоциируемых с локальными поднятиями подсолевых горизонтов (рис. 2). По вышележащим пластам эти структурные особенности не прослеживаются, что может говорить об их более древнем возрасте, чем образование ВКМС. Возможно, они имеют рифовую природу, а снижение амплитуды отражений, исходя из данных сейсморазведки в этом интервале, свидетельствует о наличии трещиноватости пород и флюидонасыщенности.

Выводы

Основные результаты исследований сводятся к следующему:

- сейсморазведка позволяет решать сложные задачи по определению структурных особенностей строения соляной толщи;
- основными отражающими горизонтами при изучении ВКМС являются: СГЗ или СЗ, кПКС, МГ, кНПП, кГАТ, кАТ;
- результаты сейсморазведки позволили уточнить положение западной границы калийной залежи, связанной с выклиниванием пластов и наличием соляной тектоники;

– по отражающим горизонтам СГЗ, МГ, кНПП уточнено положение субмеридиональных структур: Камско-Вишерского вала, Камского прогиба и осложняющих их: Сынвинской брахиантиклинали и Романовской брахисинклинали. Вблизи выявленных структур выделено 4 крупных аномалии, характерных для западной части юга ВКМС, приведена их геологическая интерпретация;

– характер отражающего горизонта, ассоциируемого с кровлей солей и представленного каменной солью, может не изменяться при его литофациальном переходе в гипс.

Библиографический список

Бондарев В. И. Сейсморазведка. Екатеринбург: Издательский центр УГГУ, 2007. 704 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист О-40. СПб: ВСЕГЕИ, 2015.

Иванов А. А., Воронова М. Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. Л.: Недра, 1975. 219 с.

Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. М.: ООО РПФ Эпсилон Плюс, 2013. 368 с.

Сапегин Б. И., Янин В. Н. Основные черты тектоники Верхнекамского калийного место-

рождения // Строение и условия формирования месторождений калийных солей. Новосибирск, 1981. С. 118–124.

Трапезников Д. Е. Палеогеографические и палеотектонические обстановки Соликамской впадины в уфимское время: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Пермь: ПГНИУ, 2019. 20 с.

Третьяков Ю. А., Сапегин Б. И. Стратификация соляно-мергельной толщи района Верхнекамского месторождения калийных солей (Всесоюз. солевое совещ. 1979 г.) // Строение и условия образования соленосных формаций. Новосибирск: Наука, 1981. С. 52–59.

Царев Р. И. Методология малоуглубинной сейсморазведки на месторождениях калийных солей: автореф. дис. канд. техн. наук. Пермь, 2022. 186 с. EDN: WYGVHV

Царев Р. И., Жуков А. А., Пригара А. М., Шкуратский Д. Н. Технология и особенности проведения поверхностной сейсморазведки на Верхнекамском месторождении солей // Горный журнал. 2021. № 4. С. 17–26. DOI: 10.17580/gzh.2021.04.01 EDN: DMKQJY

Sonnenfeld P. Brines and Evaporites. New York: Acad. Press, 1984. P. 613.

Yilmaz O. Seismic data analysis. Processing, inversion and interpretation of seismic data // Society of exploration geophysicists. 2001. Vol. I. P. 1027.

Yilmaz O. Seismic data analysis. Processing, inversion and interpretation of seismic data // Society of exploration geophysicists. 2001. Vol. II. P. 1054.

Clarification of the Tectonics of the Verkhnekamskoye Salt Deposit Based on Seismic Survey Data

R.I. Tsarev^{a, b}, D.S. Gribkov^a, A.M. Prigara^a, A.A. Zhukov^a, V.E. Minniguzin^a

^aJSC VNII Galurgii, 94 Sibirskaya Str., Perm 614002, Russia

^bPerm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614068, Russia

E-mail: roman.tsarev@uralkali.com

In result of seismic survey studies in recent years, new information about the tectonics of the Verkhnekamskoye salt deposit has been obtained. The data relate to the western edge of the southern part of the deposit, which is characterized by complex geological structure. Here, signs of disjunctive dislocations, high-intensity plicative dislocations, areas of salt erosion, lithofacial transitions, and potassium beds thinning are found. The boundaries and positions of such regional structures as Kamsko-Vishersky swell, Kamsky trough have been updated.

Key words: *Seismic survey; salt tectonics; Kamsko-Vishersky swell; Kamsky trough; Krasnoufimsky fault; lithofacial transition; salt erosion; potassium deposit thinning.*

References

Bondarev V.I. 2007. Seysmorazvedka [Seismic Exploration]. Ekaterinburg, p. 704. (in Russian)

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. 2015. List O-40. Sankt-Peterburg. (in Russian)

Ivanov A.A., Voronova M.L. 1975. Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliynykh soley [Verkhnekamskoe Potash Salt Deposit]. Nedra, p. 219. (in Russian)

Kudryashov A.I. 2013. Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley [Verkhnekamskoe Salt Deposit]. Perm, p. 368. (in Russian)

Sapegin B.I., Yanin V.N. 1981. Osnovnye cherty tektoniki Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya [Basic Tectonic Features of the Verkhnekamskoye Potash Deposit]. *In: Stroenie i usloviya formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley. Novosibirsk*, pp.118–124. (in Russian).

Trapeznikov D.E. 2019. Paleogeograficheskie i paleotektonicheskie obstanovki Solikamskoy vpadiny v ufimskoe vremya [Paleogeographic and paleotectonic environments of the Solikamsk depression in the Ufimian time]. Perm, p. 20. (in Russian)

Tretyakov Yu.A., Sapegin B.I. 1981. Stratifikatsiya solyano-mergelnoy tolshchi rayona Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Stratification of the Salt-Marl Sequence in the Territory of the Verkhnekamskoye Potash Salt Deposit]. *In: Stroenie i usloviya obrazovaniya solenosnykh formatsiy. Novosibirsk, Nauka*, pp. 52–59. (in Russian)

Tsarev R.I. 2022. Metodologiya maloglubinnoy seysmorazvedki na mestorozhdeniyakh kaliynykh soley. Perm, p. 186. (in Russian)

Tsarev R.I., Zhukov A.A., Prigara A.M., Shkuratskiy D.N. 2021. Tekhnologiya i osobennosti provedeniya poverhnostnoy seysmorazvedki na Verkhnekamskom mestorozhdenii soley [Technology and Features of Surface Seismic Surveying at the Verkhnekamskoye Salt Deposit]. *Gornyy zhurnal*. 4:17-26. (in Russian)

Sonnenfeld, P., 1984. Brines and Evaporites, New York, Acad. Press, p. 613.

Yilmaz O. 2001. Seismic data analysis. Processing, inversion and interpretation of seismic data. Vol. I. Society of exploration geophysicists, p. 1027.

Yilmaz O. 2001. Seismic data analysis. Processing, inversion and interpretation of seismic data. Vol. II. Society of exploration geophysicists, p. 1054.