

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 551.248.2

**Неотектоника и современная геодинамика территории Верхнекамского месторождения калийных солей****В.М. Макеев<sup>а</sup>, Н.В. Макарова<sup>б</sup>, А.Л. Дорожко<sup>а</sup>, Т.В. Суханова<sup>б</sup>,  
И.В. Коробова<sup>а</sup>, И.В. Бондарь<sup>б</sup>**<sup>а</sup>Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2, а/я 145

E-mail: vmakeev@mail.ru, a\_dorozhko@mail.ru

<sup>б</sup>МГУ им. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

E-mail: tanikamgu@mail.ru

*(Статья поступила в редакцию 4 июля 2017 г.)*

Рассматривается новейшая структура территории Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), которая может влиять на современное состояние соляной залежи и быть одной из причин происходящих негативных природно-техногенных процессов. На основании структурно-геодинамических исследований в пределах новейшего Соликамского поднятия выделены три неотектонические области, Северная, Центральная и Южная, отличающиеся типом новейших структур, геодинамическими условиями их формирования и степенью наследования соляных структур. Оценено происхождение новейших структур, которое связывается с латеральным СЗ-ЮВ сжатием, при котором формируются обратные соотношения разновозрастных структур и происходит активизация древних разломов. Отмечается, что для предупреждения катастрофических провалов и опасных горно-геологических явлений необходимы учет и оценка не только древних герцинских дислокаций, но и неотектонических структур и геодинамических условий их формирования.

Ключевые слова: *ВКМКС, неотектонические структуры, линеаментные зоны, геодинамические условия, соляные структуры, опасные процессы, разломы.*

DOI: 10.17072/psu.geol.16.4.354

**Введение**

Современные геодинамические условия формирования неотектонических структур и реакция на эти условия древних пермских соляных структур Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) слабо изучены. Возможное влияние неотектонических зон на образова-

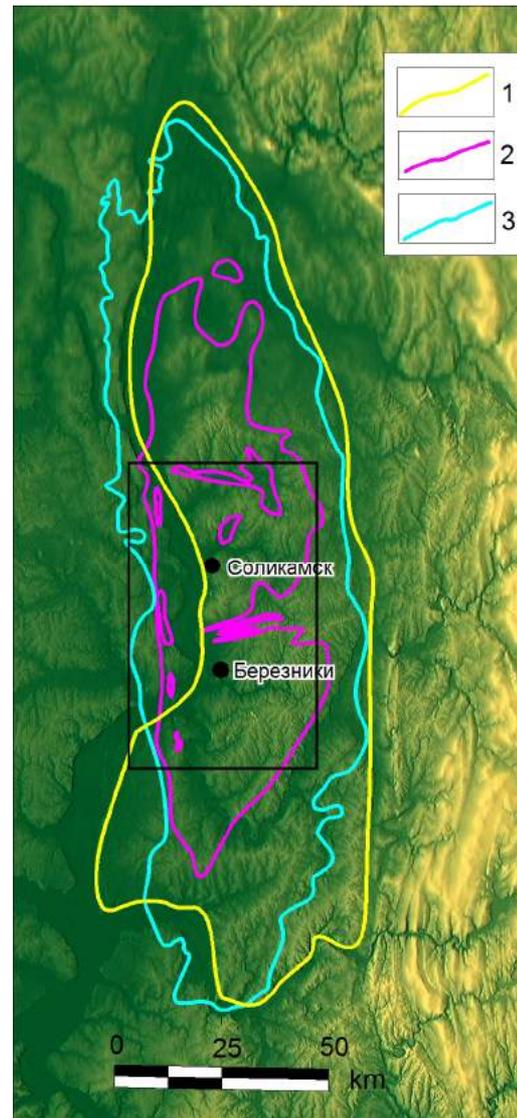
ние катастрофических провалов и других опасных горно-геологических явлений практически никем не рассматривается. Авторами статьи разработан комплексный структурно-геодинамический метод, который позволяет выявлять неотектонические структуры и оценивать их влияние на устойчивость территорий, где находятся различные инженерные объекты, а также

ведется разработка полезных ископаемых. В данной статье на примере ВКМКС сделана попытка показать возможное влияние новейших тектонических движений на современное состояние соляной залежи и развитие опасных природно-техногенных процессов. Сложность исследований заключается в том, что соляные деформации развиваются под влиянием многих факторов, среди которых роль современного геодинамического фактора почти не оценена.

Верхнекамское месторождение калийных солей является одним из крупнейших в России. Оно находится в Пермской области на западном склоне Среднего Урала в зоне сопряжения его с Восточно-Европейской платформой. ВКМКС занимает центральную, большую часть площади соляной залежи, имеющей форму линзы и выполняющей древнюю Соликамскую впадину раннепермского возраста (рис. 1). Границы месторождения проводятся по контуру залежи калийно-магниевых солей, которая имеет протяженность 140 км и ширину до 47 км (Кудряшов, 2013).

Соликамская впадина – часть Предуральяского краевого прогиба герцинского времени. Закрытие впадины с образованием деформаций выполняющих ее отложений и завершение ее развития произошли в позднегерцинское время (конец поздней перми – начало триаса). Она имеет западно-асимметричное строение и нарушена в центральной части Боровской и Дуринской разломными субширотными зонами сбрососдвигового типа, а на западе субмеридиональной Красноуфимской разломной зоной.

В течение мезозоя и раннего кайнозоя территория Соликамской впадины вместе с горно-складчатым Уралом находилась в платформенном режиме развития и подвергалась эрозионно-денудационному выравниванию с образованием обширного пенеплена. В новейшее время с конца палеогена и в миоцене вследствие активизации тектонических движений началось поднятие Урала и его расширение.



**Рис. 1.** Соотношение новейшего Соликамского поднятия с соляной линзой и контуром ВКМКС. 1 – контур Соликамского новейшего поднятия, 2 – площадь распространения калийно-магниевых солей (ВКМКС) нижнепермского возраста, 3 – контур соляной нижнепермской линзы, соответствующей Соликамской впадине герцинского возраста. Прямоугольником показана территория исследования

Территория Соликамской впадины была вовлечена в это поднятие и подверглась деформациям, в результате которых образовалось одноименное (Соликамское) субмеридиональное новейшее поднятие (Трифонов, 1969), согласное с простиранием Урала. Границы новейшего поднятия в общих чертах совпадают с контурами герцинской впадины (рис. 1). Восточ-

ной и южной границами новейшего поднятия являются узкие прогибы, наследуемые долинами рек Глухая Вильва, Бол. Сурмог и Косьва. Западной границей, отделяющей его от Восточно-Европейской платформы, является новейший субмеридиональный Камский прогиб, наследующий в общих чертах зону древнего Красноуфимского палеозой-протерозойского разлома.

В задачи исследований входило выделение новейших структур на территории ВКМКС, определение их генезиса, морфологии, типа (блок, складка), возраста и соотношения с древними структурами. В результате исследований была создана крупномасштабная карта новейших структур территории ВКМКС, которая может использоваться для решения геодинамических и геоэкологических проблем (Макеев, 2016а; 2016б; 2017).

### Методика исследования

Изучение новейших структур основывается на структурно-геоморфологическом методе, который позволяет выделить поднятия и прогибы, разрывные зоны и прочие структуры. Для выделения структур и их обоснования привлекаются геологические и топографические карты, цифровые модели местности, космические снимки и другие материалы. Большая часть этих структур была изучена в полевых маршрутах и подтверждена геологическими данными. В основном в карьерах были произведены замеры трещиноватости пермских и четвертичных отложений, исследованы линейные разрывы. Многочисленные геолого-геоморфологические разрезы, построенные с учетом геологических, главным образом буровых данных, позволили определить морфологию структур, возраст и стадийность развития поднятий, а также соотношение с древними соляными структурами. Возраст структур определен на основании выделенных на склонах возвышенностей поверхностей выравнивания (педиментов), а также террас. Эти поверхности были сопоставлены с

аналогичными поверхностями Предуралья, возраст которых известен (Востряков, 1967; Карта поверхностей..., 1972; Плиоцен..., 1981). Современная активность структур отчасти отражена в развитии эндогенных и экзогенных процессов: трещиноватости пород, избирательной эрозии и аккумуляции, оползании, подпруживании, обводнении отдельных участков, суффозионно-карстовых и других процессов.

### Геологическое строение территории ВКМКС

Геологическое строение исследуемой территории изучено детально в связи с добычей соли, а также нефти, заключенной в подстилающих соли верхнедевонских и нижнекаменноугольных отложениях, такими исследователями, как А.А. Барях, Г.В. Бельтюков, М.Л. Воронова, Б.М. Голубев, М.И. Джиноридзе, А.А. Иванов, Г.Г. Кассин, В.И. Копнин, А.И. Кудряшов, П.И. Преображенский, В.И. Раевский, И.А. Санфилов, М.П. Фивег, С.А. Филиппов, А.Е. Ходьков, И.И. Чайковский и многими другими.

Кристаллический фундамент территории ВКМКС по геофизическим данным залегает на глубине 4-5 км с тенденцией погружения к востоку. Выше по разрезу распространены отложения венда, девона, карбона, нижней перми и кайнозоя. Верхняя граница вендских отложений вскрыта скважинами на глубине около 2500 м. Разрез девонской системы представлен двумя толщами: терригенной (эйфельский, живетский ярусы и нижняя часть франского) и карбонатной (верхняя часть франского яруса и фаменский ярус). Карбонатная часть разреза девона сложена рифовыми массивами и разделяющими их рифовыми впадинами, которые дифференцируются на рифовый и впадинный типы (Кудряшов, 2013). Карбон представлен всеми тремя отделами и сложен карбонатными или терригенно-карбонатными отложениями. К рифовым постройкам в верхнем девоне (фаменский ярус) и отло-

жениям трех нижних ярусов карбона приурочены нефтяные месторождения.

Нижнепермские отложения можно разделить на подсолевые, соленосные и надсолевые. К первым относятся терригенные и карбонатные отложения ассельского, сакмарского, артинского и частично кунгурского ярусов. Соляная линза (соленосные отложения) подстилается глинисто-ангидритовой толщей (ГАТ) нижней подсвиты березниковской свиты кунгурского яруса ( $P_1br_1$ ) мощностью в среднем 230 м. К соленосным отложениям, общая мощность которых составляет не более 550 м (Кудряшов, 2013), относятся отложения верхней части березниковской свиты: подстилающая каменная соль (ПдКС,  $P_1br_2$ ), мощность которой изменяется от 0 до 515 м и в среднем составляет 330 м; продуктивная калийная залежь ( $P_1br_3$ ), состоящая из сильвинитовой и карналлитовой пачек общей мощностью в среднем около 70 м, и покровная каменная соль (ПКС,  $P_1br_4$ ) выдержанной мощностью 16-22 м. ПКС вместе с низами вышележащей соляно-мергельной толщи (СМТ) составляет т.н. водозащитную толщу (ВЗТ), от наличия и состояния которой зависит возможная инфильтрация поверхностных и подземных вод в горные выработки, т.е. их безопасность.

Дислокации соленосных отложений исследователи определяли, как линейные субмеридиональные валы и прогибы, изометричные купола, брахиантиклинали, синклинали (Копнин, 1986 и др.). Что касается многочисленных и не всегда достоверно установленных разрывных нарушений различной кинематики, выделенных разными авторами и разными методами, то их наиболее полный каталог, приведен в работе А.И. Кудряшова (2013). По данным большинства исследователей, образование этих структур связывается как с тектоническими причинами, главным образом с давлением Урала, так и со свойствами соли, способностью ее к течению в особых условиях (Чайковский, 2008; 2013; 2015; Джиноридзе и др., 2000). Течение соли предполагает сгуживание ее или

надсолевой толщи с бортов Соликамской впадины к центру или в Камский прогиб.

Выше соленосных отложений согласно с их структурами залегают отложения соликамской и шешминской свит уфимского яруса нижней перми. К ним относятся: соляно-мергельная толща нижнесоликамской подсвиты (СМТ,  $P_1sl_1$ ), ее мощность изменяется от 15 до 160 м, в среднем составляет около 100 м; терригенно-карбонатная толща верхнесоликамской подсвиты (ТКТ,  $P_1sl_2$ ) мощностью от 90 до 170 м и пестроцветная толща шешминской свиты (ПЦТ,  $P_1šš$ ). Последняя распространена не повсеместно, наибольшая ее мощность, достигающая 675 м, наблюдается в Дуринской разломной зоне.

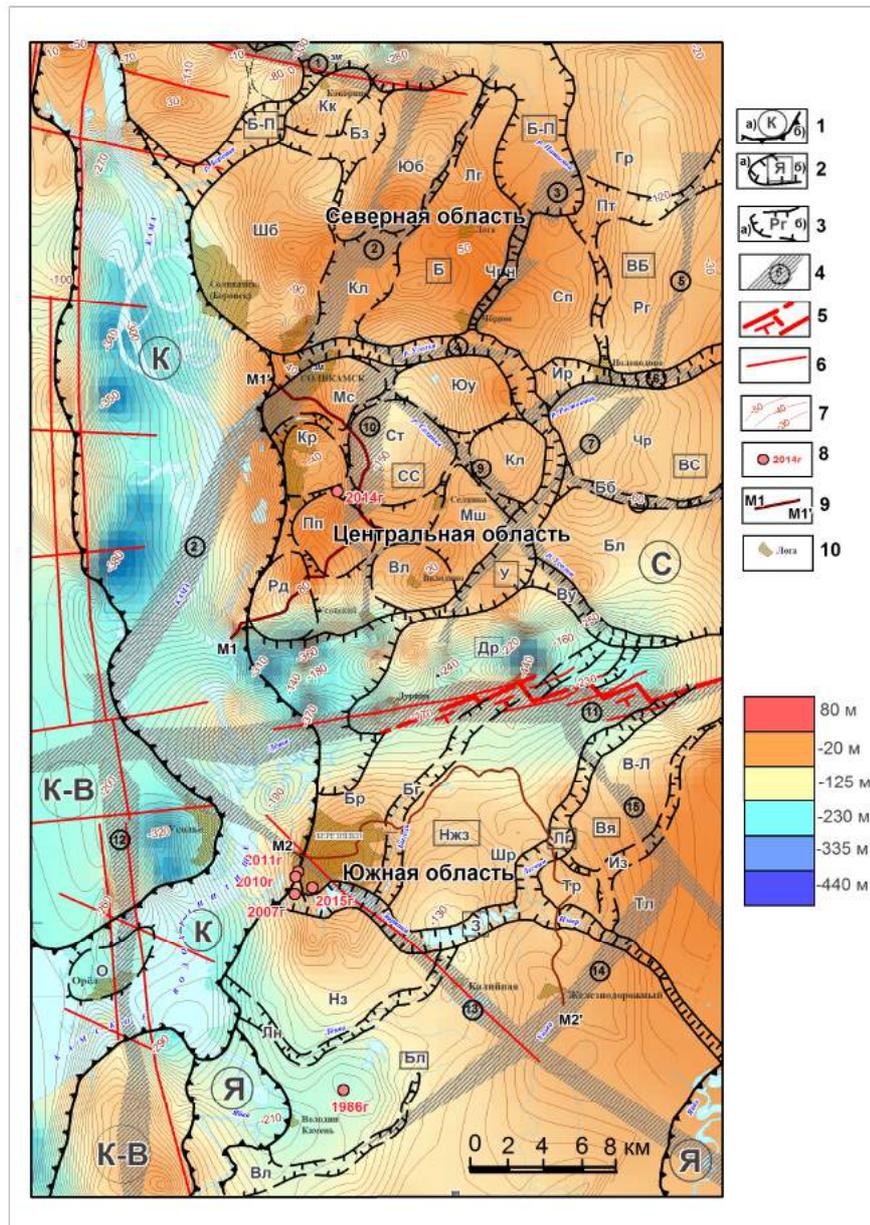
Четвертичные отложения, перекрывающие пермские, представлены элювиальным, флювиогляциальным, делювиальным, аллювиальным и гляциальным генетическими типами. Их мощность колеблется от 1 до 20-25 м.

### Неотектоника ВКМКС и основные новейшие структурные формы

На основании структурно-геоморфологического анализа рельефа и геологических данных новейшее *Соликамское поднятие* разделяется на три области, различные по структурному плану: Северную, Центральную и Южную (рис. 2).

К *Северной* области относятся изометричное Боровское (Б) и линейное Восточно-Боровское поднятие (ВБ) (здесь и далее новейшие структуры названы нами по географическим признакам - населенным пунктам или долинам рек, некоторые из них соответствуют известным древним структурам). В свою очередь они являются южной частью более крупного изометричного поднятия сложного строения, большая часть которого находится за пределами исследуемой территории. Боровская структура ограничена прогибами: на северо-западе, севере и востоке Боровско-Потымкинским (Б-П) и Чернореченским (Чр), на юге Усолковским (У), на западе Камским (К) (рис. 2).

**Рис. 2.** Карта новейших структур и рельеф кровли соленосных отложений ВКМКС. Новейшие структуры: 1 – региональные (буквы в кружках) а) поднятия: К–В – Камско-Вишерское, С – Соликамское; б) прогибы: К – Камский, Я – Яйвинский; 2 – субрегиональные (буквы в прямоугольниках) а) поднятия: Б – Боровское, СС – Собственно-Соликамское, ВБ – Восточно-Боровское, ВС – Восточно-Соликамское, Др – Дуринское, Нжз – Нижнезырянское, Вя – Верхнейивинское, Бл – Балахонцевское; б) прогибы: Б–П – Боровско-Потымкинский, У – Усолкинский, Ир – Иренский, Ву – Верхнеусолкинский, 3 – Зырянский, Лг – Легчимский; 3 – локальные: а) поднятия: Кк – Кокоркинское, Шб – Шубинское, Юб – Южно-Боровское, Лг – Логское, Гр – Гребешковское, Сп – Северо-



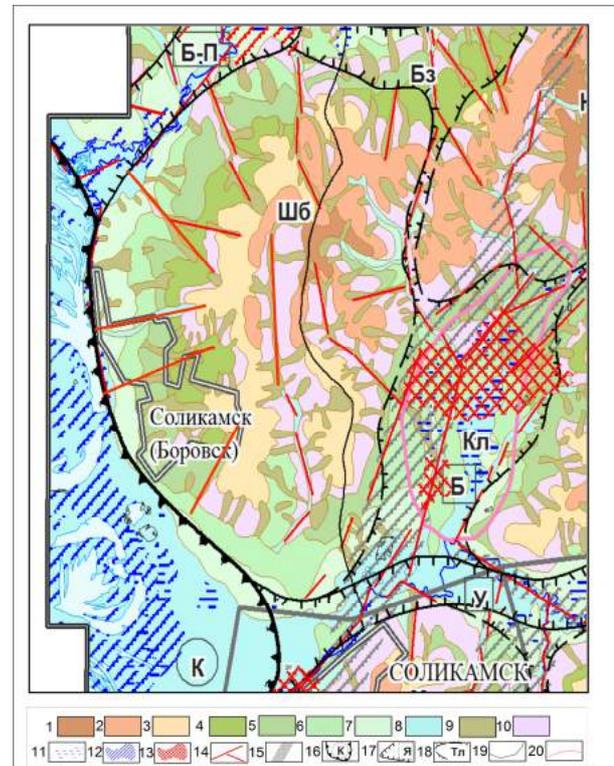
Половодовское, Мс – Малосоликамское, Кр – Коркинское, Пп – Поповское, Вл – Володинское, Рд – Родниковское, Ст – Студенское, Чр – Чуриновское, Бл – Бельское, Кл – Каменнологское, Юу – Южноусолкиновское, О – Орловское, Бр – Березниковское, Шр – Шаратовское, В-Л – Восточно-Легчимское, Тр – Троицкое, Тл – Талицкое, Нз – Новозырянское; б) прогибы: Бз – Безымянный, Кл – Клестовский, Пт – Потымкинский, Бб – Бубровский, Ир – Иренский, Чрн – Чернореченский, Ву – Верхнеусолкинский, Бг – Быгельский, Вл – Волимский, Из – Изверский, Лн – Ленвинский; ступени: Миш – Мешиалкинская, Рг – Рогалинская; 4 – линеаментные зоны (цифры в кругах): 1 – Боровская, 2 – Клестовская, 3 – Чернореченская, 4 – Усолковская, 5 – Верхнеростовицкая, 6 – Ростовицкая, 7 – Верхнеусолковская, 8 – Бубровская, 9 – Селянская, 10 – Батуевская, 11 – Дуринская, 12 – Красноуфимская, 13 – Камско-Зырянская, 14 – Волимско-Уньвинская, 15 – Изверско-Легчимская; 5 – новейшие разрывы, ограничивающие южное крыло Дуринского поднятия; 6 – древние разломы и разломные зоны; 7 – изолинии подошвы покровной каменной соли (ПКС); 8 – природно-техногенные провалы и год их образования; 9 – линии разрывов; 10 – населенные пункты. Цветом показаны абс. отметки подошвы ПКС

В Боровской структуре выделяются локальные поднятия купольной формы – Шубинское (Шб) – и вытянутые в северо-северо-восточном направлении Кокоринское (Кк), Южноборовское (Юб), Логское (Лг), разделенные прогибами Безмянным (Бз), и Клестовским (Кл). Наиболее крупным поднятием является куполообразное Шубинское с радиусом 5–7 км, с абсолютной отметкой 260 м и относительным превышением над уровнем водохранилища 160 м. Для него характерно радиально-концентрическое строение. Радиальные линеаменты, проявленные эрозионными формами, наиболее отчетливы в западной части купола. Концентрическое строение подчеркнуто развитием ступеней рельефа, по которым определены эоплейстоценовый возраст поднятия, стадийность развития и расширение его в процессе роста (рис. 3). В восточной части поднятия срезано Клестовским прогибом. Его южная «устьевая» часть расширена, заболочена, выполнена четвертичными отложениями повышенной мощности, что связано с прогибанием и подпруживающим влиянием повысившегося уровня Камского водохранилища. К Клестовскому прогибу приурочена линеаментная зона северо-восточного простирания, в пределах которой выделяется ряд линеаментов такой же ориентировки. Зона продолжается в устьевую часть Усолковского прогиба и далее пересекает долину р. Камы в районе пос. Лысьва.

Сопоставление с погребенными структурами соли показывает, что в прогибе близко к поверхности залегает кровля соли, лишенная ПКС, – Клестовский купол. Вследствие этого прогиб рассматривается как мульда выщелачивания, оседания и зона растяжения. Вместе с линеаментами или трещиноватостью пород это способствует заболачиванию территории и инфильтрации поверхностных вод.

Боровско-Потымкинский прогиб имеет ширину 1,5–2 км, сужаясь до 0,5 км в створе с ограничивающими его сближенными поднятиями. Он выполнен аллювиальными отложениями позднеоплей-

стоценового возраста мощностью 15–20 м. В широтной своей части прогиб развит над зоной древнего Боровского разлома фундамента, выделенного по данным геофизики в виде правого сдвига (Кудряшов, 2013).



**Рис. 3.** Фрагмент структурно-геоморфологической карты (Шубинское поднятие). Формы рельефа (денудационный 1 – плиоценовая, 2 – эоплейстоценовая, 3 – раннеоплейстоценовая ступени); флювиогляциальный (4 – 4-я терраса (долинный зандр)); аллювиальный (5 – 3-я терраса, 6 – 2-я терраса, 7 – 1-я терраса, 8 – пойма; 9 – днища оврагов, балок, ложбин; 10 – склоны водоразделов, речных долин и оврагов, не расчлененных по возрасту). Экзогенные процессы: 11 – заболачивание, 12 – участки периодического затопления паводками, 13 – участки возможной инфильтрации поверхностных вод в сильвинит-карналлитовую зону из-за отсутствия на ней ПКС.

Современные деформации: 14 – линеаменты, 15 – линеаментные зоны, 16 – региональные, 17 – субрегиональные и 18 – локальные структуры; 19 – границы горных отводов, 20 – граница калийной залежи

В подошве покровной соли отмечается уступ, по которому северная часть опущена на 100-200 м. В современной структуре вдоль зоны древнего разлома выделена линеаментная зона, протягивающаяся через долину р. Камы на северо-запад за пределы территории месторождения. На левом склоне долины Боровой в районе пос. Кокорино наблюдаются выходы источников и оползание склона. Это может быть связано с близким залеганием здесь шешминской свиты, в составе которой присутствуют глинистые горизонты, служащие водоупором, и одновременно предположительно свидетельствовать о проявлении некоторой активности разлома в настоящее время.

Центральная область отделяется от Северной Усолковским и Иренским прогибами. На западе это также изометричная структура – Собственно-Соликамская (СС) диаметром 14-15 км, в рельефе образующая поднятие с наивысшими абсолютными отметками около 230 м. В ней выделяется центральная, относительно несколько пониженная часть, Студенское поднятие (Ст) и обрамляющий ее вал, который на западе частично срезан долиной р. Камы (рис. 2). Диаметр центральной части около 6 км. Ее поверхность наклонена на север. От вала она отделяется долинами ручьев Подгорного и Селянки, огибающими ее с запада и востока. Они начинаются на внутренней стороне вала в южной его части и текут на север, где, сливаясь, пересекают вал antecedentным участком.

Вал состоит из куполов Малосоликамского (Мс), Южноусолкинского (Юс), Каменнологского (Кл), Володинского (Вл), Родниковского (Рд), Поповского (Пп), Коркинского (Кр) и Мешалкинской структурной ступени (Мш), разделенных узкими прогибами. Купола небольшие, их диаметр составляет 3,5-4 км, а амплитуда поднятия 190-220 м. Они асимметричны. Наибольшие высотные отметки приурочены к стороне, примыкающей к внутренней части вала. Купольные поднятия выражены в рельефе. Среди многочислен-

ных линеаментов, расчленяющих купола, выделяются радиальные, делящие их на секторы. Более крупные и протяженные линеаментные зоны – Батуевская субмеридионального и Селянская северо-западного простирания – пересекают всю изометричную структуру. Вместе с радиальными линеаментами они являются возможными проводниками поверхностных и подземных вод в глубь разреза пермских отложений.

Склоны купольных поднятий концентрически обрамлены разновозрастными ступенями, представляющими поверхности выравнивания, формировавшиеся по мере стадийного роста куполов. По их возрасту определен и возраст куполов как эоплейстоценовый ( $Q_E$ ) и раннеоплейстоценовый ( $Q_1$ ). Террасы р. Камы, из которых верхняя (четвертая) ранне-среднеоплейстоценовая, сложенная флювиогляциальными отложениями времени отступления днепровского оледенения, развита ниже на склонах западных куполов (рис. 4).

Купола оконтуриваются или отделяются друг от друга узкими эрозионно-тектоническими прогибами шовного типа, испытывающими сжатие вследствие встречного сближения растущих купольных поднятий, что заставляет предположить компенсационную природу их образования вследствие латерального или косо ориентированного к горизонту перетока солей от прогибов к поднятиям. Это подтверждается тем, что некоторые радиально-концентрические поднятия (Шубинское, Поповское) асимметричны: у них наблюдается наклон осевой плоскости к прогибам. Как правило, соляные купола являются бескорневыми. Это позволяет предположить, что рост и расширение радиально-концентрических поднятий (куполов) имеют соляную природу. Различное соотношение куполов и соляных структур, которое бывает далеко не всегда прямым и часто даже обратным, объясняется нахождением их на разной стадии эволюции и особенностями вещественно-структурной обстановки: мощность и глу-

бина положения соленосных отложений, надсоляной толщи и т.д. вещественно-структурные особенности

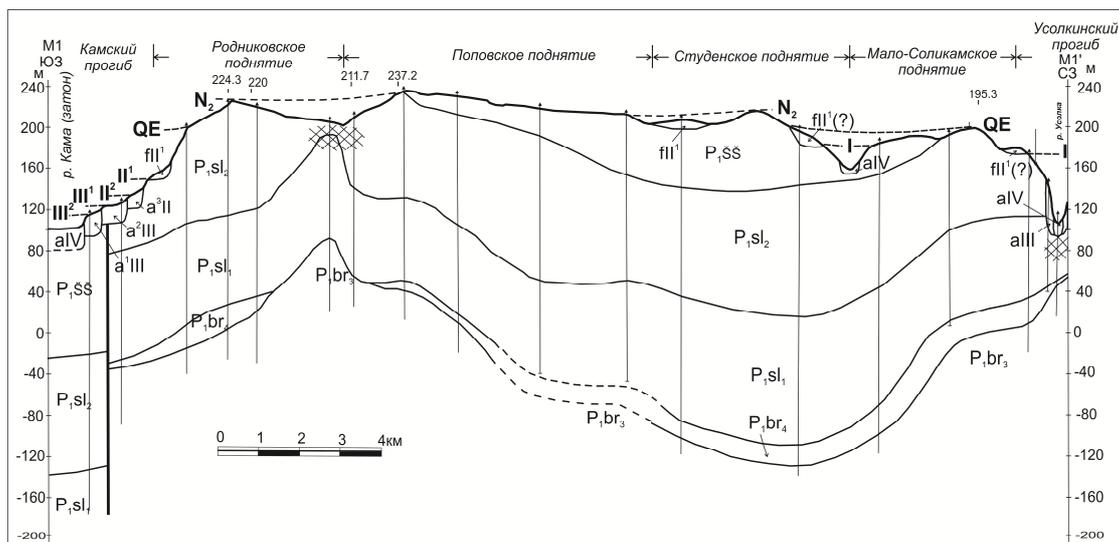


Рис. 4. Геолого-геоморфологический разрез по линии M1-M1'

Предварительное сопоставление новейшей Собственно-Соликамской изометричной структуры с погребенными пермскими соляными структурами свидетельствует о практическом совпадении их контуров. Студенская центральная часть структуры совпадает с погребенной Тверитинской мульдой. В целом совпадают и отдельные купольные поднятия, хотя есть и различие, заключающееся в некотором смещении их современных контуров по сравнению с древними структурами (рис. 2). Эти купола в новейшей структуре образуют кольцевой вал, обрамляющий центральную часть, тогда как поднятия по погребенной соли, по данным других исследователей (Кудряшов, 2013 и др.), являются частью меридиональных валов.

Усолковский прогиб (У) оконтуривает Собственно-Соликамское поднятие, отделяя от него Боровскую структуру на севере, Восточно-Соликамскую на востоке и Дуринское поднятие на юге. В целом Усолковский прогиб рассматривается нами как компенсационный. По нему выделена на севере одноименная широтная линейно-амбипланная зона, возможно, отражающая разрывное нарушение со сдвиговой компонентой. Однако геологические доказательства разрыва отсутствуют. Линейно-

амбипланная зона соответствует трещиноватости пород терригенно-карбонатной толщи (P<sub>1</sub>sl<sub>2</sub>) таких же простираний, замеренная в карьере на правом берегу Усолки в районе пос. Черное. На востоке прогиб поворачивает на юго-запад, расширяясь при сочленении с Камским прогибом. Здесь широко развиты низкие позднеплейстоценовые террасы р. Камы.

Южная область граничит с Центральной областью по Дуринскому (Др) новейшему поднятию субширотного простирания (рис. 2). Последнее выделяется резко контрастными, по сравнению с развитыми от него к северу и югу, структурами. Это асимметричный (южный склон короче и круче северного), протяженный (более 40 км) вал с узким (1-1,5 км) водоразделом, амплитудой поднятия 270 м. Вал в восточной части узкий (2,5 км), а в западной расширен до 5 км за счет приуроченности его северного склона к понижению между двумя изометричными структурами – Собственно-Соликамской на западе и Восточно-Соликамской на востоке, от которой отделен Верхне-Усолковским (Ву) прогибом. С юга Дуринское поднятие ограничено новейшим разрывным нарушением, имеющим пра-

вокулисное строение. Вал состоит из нескольких локальных поднятий северо-восточного простирания, разделенных узкими понижениями. Кулисообразное их сочленение друг с другом позволяет связывать их образование с условиями также правосторонних сдвиговых напряжений. Новейший вал может рассматриваться как линеаментная зона, в которую входят разрывы, ограничивающие Дуринский вал с юга. Это может свидетельствовать об активности древнего разлома на новейшем этапе.

Дуринское поднятие развивается над древней одноименной глубинной разломной зоной, прослеживаемой в геофизических полях далеко на запад и восток от месторождения. Ей соответствует глубокая (амплитудой более 500 м, по А.И. Кудряшову (2013) и другим авторам) желобообразная или грабенообразная структура, заполненная отложениями шешминской свиты. Структура состоит из двух узких широтных субпараллельных в плане прогибов и разделяющего их вала. Другие исследователи трактуют их как трансензионную структуру, состоящую из грабенов и горста (Трапезников, Чайковский, 2016), образованную при участии левосдвиговых движений.

На данном этапе исследований предполагается, что Дуринский вал, как новейшая структура, формируется в условиях косоугольного сжатия, ориентированного в СЗ-ЮВ направлении, что доказывается образованием правосдвиговых кулисообразных разрывов, локальных поднятий и понижений С-В простирания. Его размеры и простирание обусловлены древней герцинской сбросовой зоной, с которой он согласуется по локализации. Хорошо выраженный в рельефе вал, осложненный кулисными разрывами и складками, рассматривается нами как геодинамически активная зона. В его пределах возможна концентрация повышенных неотектонических напряжений и их разрядка. Причиной появления таких напряжений являются, возможно, движения реверсивного характера движения взбросо-

вого типа, происходящие по древним герцинским сбросам. Правосторонние разрывы, осложняющие Дуринский вал, и западная асимметрия поднятий в Южной структурной области предполагают, что напряжения сжатия распространяются с северо-запада в юго-восточном направлении.

Неотектоническое строение Южной области исследуемой территории резко отличается от строения Центральной и Северной областей. Если на севере преобладают изометричные, куполообразные поднятия, разделенные узкими прогибами, то на юге новейшие структуры вытянуты преимущественно в северо-восточном направлении и разделены узкими прогибами. Развитие преимущественно эрозионно-денудационного рельефа с незначительным распространением аккумулятивных форм свидетельствует о преобладающем поднятии территории, продолжающемся на протяжении плиоцена и всего четвертичного времени.

Южная часть Соликамского поднятия в пределах рассматриваемой территории подразделяется на ряд субрегиональных и локальных поднятий и прогибов. Большинство поднятий имеет северо-восточное простирание и асимметричное строение – западные склоны более крутые, а восточные более пологие и длинные. При этом наиболее высокие отметки рельефа отмечаются в восточной части. Южная область разделена Зырянским (З) и Легчимским (Лг) прогибами на три субрегиональных поднятия – Нижнезырянское (Нжз), Верхнеявинское (ВЯ) и Балахонцевское (Бл).

Долина р. Зырянка в границах поймы и верхнеплейстоценовых террас приурочена к одноименному прогибу. Последний имеет в целом субширотное простирание, но отдельные его участки, преломляясь, вытянуты в С-В направлении, что подчеркивается линеаментами. Ширина прогиба изменяется от 1,5 до 0,5 км. Его суженная часть С-З направления у пос. Суханово в створе с Шараповским и Новозырянским поднятиями является antecedentным

участком. Здесь же проходит зона древнего Зырянского сдвига и Камско-Зырянская линеamentная зона, наследующая этот разлом. Русло Зырянки на этом участке активно меандрирует. Отдельные отрезки меандр имеют прямолинейные формы и значительно врезаны. Северо-западное простирание (330° СЗ) некоторых замеренных участков соответствует простираниям как линеamentной зоны в целом, так и древнего разлома. Кроме того, обращает на себя внимание небольшое смещение Дуринской линеamentной зоны при пересечении Камы. Это возможные признаки унаследованных современных праводвиговых деформаций.

Нижнезырянское поднятие С-СВ простирания на севере «тесно» примыкает к Дуринскому поднятию. На западе оно сочленяется с Камским прогибом. Рассматриваемое поднятие объединяет локальные структуры: западное Березниковское (Бр) и восточное Шараповское (Шр) поднятия, разделенные Быгельским прогибом (Бг) (рис. 2). На севере у Дуринского поднятия их С-СВ простирание меняется на северо-восточное, как бы подстраиваясь под него, что дополнительно свидетельствует о

наличии сдвиговых деформаций в районе Дуринской зоны. В осевых частях поднятий развиты фрагменты позднеплиоценовой и обширные эоплейстоценовые поверхности (на ней находится восточная часть г. Березники), в которые на склонах долин врезаны средне- и позднечетвертичные террасы. Возраст поднятий эоплейстоценовый. Шараповское поднятие и Быгельский прогиб развиты над древним (пермским) Легчимским структурным выступом (Кудряшов, 2013), а Березниковское поднятие в общих чертах наследует древний Березниковский соляной купол (рис. 5).

Верхнейвинское поднятие (Вя), условно названное так из-за расположения в верховьях Яйвы, входит в исследуемый район западной частью. Поднятие состоит из Восточно-Легчимского (Вл), Талицкого (Тл) и Троицкого (Тр) локальных поднятий, разделенных Изверским прогибом (Из) (рис. 2). Верхнейвинское поднятие появилось в рельефе в позднем плиоцене. Его амплитуда около 220 м. В общих чертах оно наследует древний обширный Еловский купол (структурный выступ).

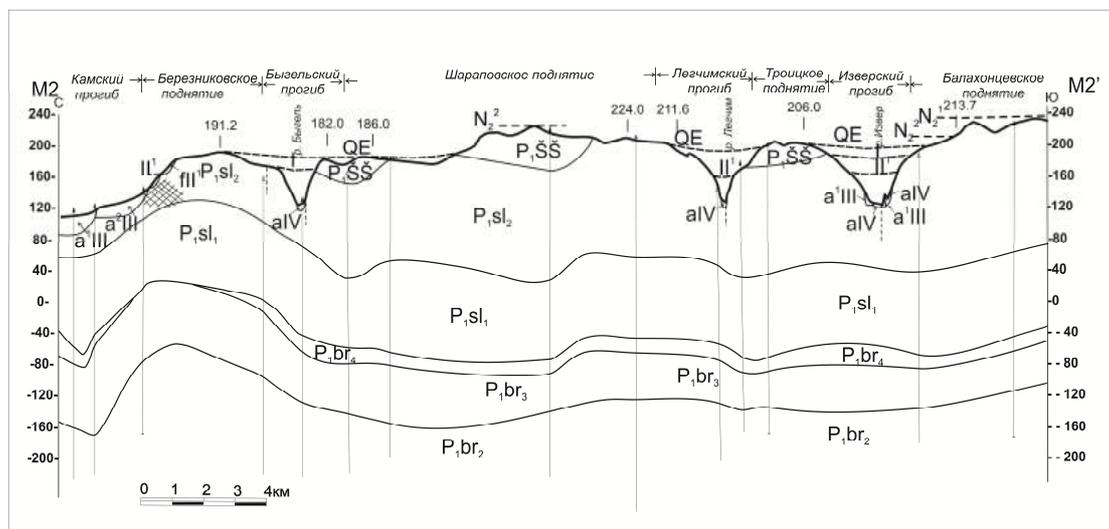


Рис. 5. Геолого-геоморфологический разрез по линии M2-M2'

Южнее Зырянского прогиба выделяется Балахонцевское поднятие (Бл) северо-восточного простирания, представляющее собой крупный массив, интенсивно расчлененный эрозионной сетью. Амплитуда

поднятия составляет 220-230 м. Как и описанные выше поднятия, оно тоже асимметричное. Сравнительно узкие речные долины, по всей вероятности, представляют собой зарождающиеся прогибы,

такие как Волимский (Вл). Интенсивный рост поднятия заставляет р. Яйву образовывать резкую крутую излучину при его обтекании. Центральная и западная части Балахонцевского поднятия развиты над пологим синклинальным понижением – Дурыманским прогибом. В отдельную локальную структуру здесь можно выделить только Новозырянское поднятие (Нз), отделенное Ленвинским прогибом (Лн). Оно наследует южную часть древнего Березниковского купола.

Яйвинский прогиб (Я) в исследуемый район входит преимущественно своим северным окончанием или устьевой частью долины р. Яйвы. Западный склон прогиба, сопряженный с Камско-Вишерским валом, круче восточного. Плоская поверхность прогиба занята поймой, I и II террасами, снижающимися к устью и заболоченными из-за подпруживающего влияния водохранилища.

Кроме вышеописанной Камско-Зырянской линеаментной зоны в Южной области выделены еще две – Волимско-Уньвинская и Изверско-Легчимская. Волимско-Уньвинская зона линеаментов северо-восточного простирания ( $50^\circ$  СВ) выделена в юго-восточной части Южной области. Входящие в нее линеаменты имеют различные простирания при преобладающей ориентировке  $40-50^\circ$  на СВ. Одни линеаменты образуют кулисы, некоторые – надстраивают друг друга. Изверско-Легчимская линеаментная зона с азимутом простирания  $330^\circ$  на СЗ наследуется руслами рек Легчима, Извера и Талицы. Многие линеаменты этой зоны простираются преимущественно по азимуту  $340^\circ$  на СЗ, образуя при этом кулисы, соответствующие условиям правосдвиговых деформаций.

Новейшие деформации Южной области практически не наследуют древние пермские соляные образования. Исключение составляют Березниковское поднятие, южная часть которого наследует древний Березниковский купол и Талицкое поднятие, развитое над древним Еловским куполом. Вероятно, процессы перераспреде-

ления солей играли подчиненное значение в формировании новейших структур Березниковской части исследуемой территории. Некоторые линеаментные зоны развиваются в зонах древних разломов, которые в этом случае можно считать активизированными на новейшем этапе.

На территории Южной области в разные годы происходило катастрофическое затопление рудников БКПРУ-3 и БКПРУ-1 с последующим образованием природно-техногенных провалов и оседаний земной поверхности над этими рудниками (Осипов, 2014, Осипов, 2016). Наибольший ущерб в данный момент нанесен г. Березники, построенному над подработанными и затопленными подземными пространствами, здесь произошло четыре крупных провала (рис. 2) и процессы оседания земной поверхности продолжают. Многие исследователи помимо многочисленных техногенных и природно-техногенных факторов, оказывающих влияние на развитие этих опасных процессов, выделяют тектонический фактор. Провалы находятся на незначительном расстоянии от Зырянской сдвиговой зоны, активизированной на новейшем этапе, т.к. в ее пределах находится Камско-Зырянская линеаментная зона. Кроме того, это склон растущего Березниковского радиально-концентрического поднятия и одноименного соляного купола. Все это говорит о том, что здесь возможны деформации растяжения с образованием открытой трещиноватости, которая способствует процессам повышенной инфильтрации поверхностных и подземных вод, ускоренному карстообразованию и проникновению этих вод в подземные выработки.

Северную, Центральную и Южную области Соликамского новейшего поднятия с запада ограничивают две крупные региональные новейшие структуры – Камский прогиб (К) и Камско-Вишерское поднятие (К-В) (рис. 2).

**Камский прогиб** на территории месторождения протягивается в меридиональном направлении на 85 км при ширине от

5-16 до 10-12 км, местами до 15-16 км (южнее пос. Усолье). Он срезает новейшие структуры всех трех областей, как бы «накатываясь» на них с запада, что может указывать на его повышенную активность относительно поднятий. Прогиб резко сужен до 5-6 км при пересечении Камско-Вишерского поднятия, и этот участок долины реки является antecedентным. Здесь в створе с валом выделяется совсем молодое позднеплейстоцен-голоценовое Орловское поднятие (О). В долине р. Камы, приуроченной к прогибу, сохранились неогеновые отложения, прослеживаются узкие переуглубленные русла, в том числе, раннеплейстоценовой долины, в целом мощность четвертичных отложений превышает 20-25 м. Прогиб пересекается несколькими линеamentными зонами, делящими его на отдельные ячеи. Новейший прогиб наследует герцинскую синклинали. По данным бурения известно, что ось прогиба смещена к его западной части (Кудряшов, 2013). Дислокации соляной толщи наклонены в сторону прогиба, т.е. они имеют западную асимметрию. Соль продолжает деформироваться и в четвертичное время, о чем свидетельствуют деформации неогеновых отложений в северной части прогиба в карстовой впадине (Горецкий, 1964).

**Камско-Вишерское поднятие** протягивается в меридиональном направлении на расстояние почти 30 км (в пределах исследуемой территории). Его ширина 3-5 км. В рельефе это пологое поднятие, плавно повышающееся с юга на север с 180 до 200 м, затем снова снижающееся к северу. Вал асимметричен – его восточное крыло, подмываемое р. Яйва, круче западного. Западная ветвь на 5-6 м выше восточной. Новейшее Камско-Вишерское поднятие образовалось в раннеплейстоценовое время. Амплитуда поднятия около 200 м. На исследуемой территории Камско-Вишерское новейшее поднятие в общих чертах наследует герцинский одноименный вал. В северной Закамской части его ось несколько смещена к западу от оси более древней структуры, объеди-

няющей ряд небольших брахиантиклиналей. В южной Прикамской своей части поднятие практически полностью наследует крупную древнюю структуру – Белопашнинскую брахиантиклиналь.

Красноуфимская линеamentная зона согласуется с Камско-Вишерским валом и наследует зону крупного регионального одноименного разлома субмеридионального простирания, который является границей Восточно-Европейской платформы и Уральского орогена (Джиноридзе, 2000; Кудряшов, 2013). Она хорошо проявлена в рельефе на право- и левобережье Камы. Простирание большинства линеamentов, входящих в эту зону, укладывается в интервал от  $350$  до  $360^\circ$  на С-СЗ. Протяженный линеament, отражающий в рельефе Красноуфимский разлом, дешифрируется на одной из цифровых моделей местности, наиболее отчетливо выделяясь в центральной части. Возможно, это раздвиг или сброс новейшего возраста, относящийся к зоне древнего Красноуфимского разлома. На топографических картах этот линеament распадается на несколько менее крупных. Один из них, южная часть которого была изучена при полевых исследованиях, выделен по прямолинейному субмеридиональному ( $350^\circ$  на СЗ) руслу Огурдинки. Согласно исследованиям, русло р. Огурдинка относительно глубоко врезано (до 3 м), образует зигзагообразные спрямленные меандры, преломляющиеся под углом  $90^\circ$  с широтного ( $280^\circ$  З) на меридиональное ( $0-5^\circ$  на СВ) направление. Эти данные согласуются с положением и ориентировкой зоны Красноуфимского разлома и в целом могут указывать на его современную активность.

## Выводы

Территория Верхнекамского месторождения калийных солей характеризуется следующими закономерностями и особенностями неотектонического строения и современного развития.

1. В пределах древней Соликамской герцинской впадины выделены одно-

именное новейшее поднятие и ряд других структур плиоцен-четвертичного возраста, развивающиеся поныне (см. рис. 1, 2). Соликамское поднятие согласуется по простиранию в целом с линзой, сложенной нижнепермскими солями, кровля которой проявляет тенденцию к сводообразному поднятию: с абсолютными отметками +50 – -300 м. Это дает основание предполагать, что зеркальная (обратная) выпуклость кровли соляной линзы подчиняется больше форме неотектонического (новейшего) поднятия, чем форме герцинского прогиба. Эту особенность неотектонического строения линзы следует учитывать при оценке геодинамической безопасности территории месторождения.

2. Рассматриваемая территория отчетливо разделяется на три неотектонические области, отличающиеся структурным планом: Северную, Центральную и Южную (см. рис. 2). Границами этих областей являются субширотные структурные зоны: Усолкинская, которую наследует широтный участок р. Усолки, и Дуринская. Частично в Северной и особенно Центральной области развиты изометричные купола, тогда как в Южной области – линейные поднятия и прогибы. Структуры этих областей пересекаются линеаментными зонами, часть из которых согласуется с древними (герцинскими, докембрийско-герцинскими) разломами.

3. Неотектонические структуры рассматриваемой территории формируются в условиях косога латерального сжатия (относительно древних субмеридиональных структур), ориентированного в СЗ-ЮВ направлении. Это приводит к образованию асимметричных неотектонических структур и развитию сдвиговых напряжений: северо-западная асимметрия отмечается у поднятий Южной области, валы поднятия сдвигового типа формируются в пределах Дуринского и Красноуфимского древних разломов. Образование Дуринского вала сопровождается развитием правокулисных локальных разрывов и складок. В связи с этим не исключается, что косо ориентированное напряжение

сжатия, устанавливаемое на рассматриваемой территории, наводится со стороны Коми-Пермяцкого устойчиво растущего свода.

4. Косо действующие напряжения сжатия приводят к формированию региональных неотектонических поднятий и прогибов и других структур, согласных по простиранию с герцинскими структурами. По знаку вертикальных движений (по форме) соотношение разновозрастных структур может быть обратным и прямым. Обратными соотношениями относительно древней Соликамской впадины характеризуется Соликамское поднятие. Дуринский широтный вал является обратным относительно древней сбросовой зоны. Прямые соотношения с древней Соликамской впадиной имеет Камский субмеридиональный прогиб. Боровская, Дуринская, Красноуфимская и Камско-Зырянская линеаментные зоны С-З простирания согласуются по локализации с древними герцинскими разломами.

5. По относительной протяженности линеаментные зоны разделяются на два типа: длинные транзитные (Боровская, Красноуфимская и др.) и короткие внутриблоковые (Камско-Зырянская, Клестовская и др.). Первые распространяются далеко за пределы выделенных неотектонических областей и поэтому классифицируются как транзитные и глубинные. Их образование связывается с косым давлением, наведенным с северо-западной стороны. Вторые ограничиваются размерами областей. Их активность, возможно, полностью контролируется внутриблоковыми напряжениями сжатия, которые могут быть субмеридиональными или субширотными. Однозначного ответа на этот вопрос пока нет. Более мелкие линеаменты диагонального и ортогонального простирания могут отвечать системам планетарной трещиноватости и закономерностям развития неотектонических структур и соляных куполов.

6. На фоне рисунка неотектонических структур ярко выражаются радиально-концентрические поднятия (купола). Их

развитие происходит преимущественно в Центральной неотектонической области, наиболее погруженной части Соликамской древней впадины. Купола имеют специфическое бескорневое строение, не характерное для тектонических структур. Их связь с герцинскими соляными структурами по знаку вертикальных движений не всегда является однозначной, но нередко устанавливается в виде прямых соотношений. Это указывает на особенное происхождение куполов, связанное с активностью солей. Возможно, что эти купола формируются в связи с вертикальными напряжениями, вызванными притоком солей в купол и с последующим их ростом и расширением. В этом случае узкие прогибы, сопряженные с куполами, являются относительно пассивными с точки зрения геодинамической активности.

7. В результате детальных структурно-геодинамических исследований создана крупномасштабная карта новейших структур территории Верхнекамского месторождения калийных солей, которая может являться хорошей основой для оценки устойчивости водозащитной толщи и калийных солей, разрабатываемых подземным способом. С целью безопасного проектирования и строительства горных выработок и решения экологических проблем в пределах месторождений полезных ископаемых следует оценивать не только древние (донеотектонические) дислокации, которые к настоящему времени часто являются относительно пассивными, но и ныне активные неотектонические структуры.

### Библиографический список

- Востряков А.В.* Неогеновые и четвертичные отложения, рельеф и неотектоника юго-востока Русской платформы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1967. 354 с.
- Горецкий Г.И.* Аллювий великих антропогенных прарек Русской равнины. М.: Наука, 1964. 415 с.
- Джиноридзе Н.М., Аристаров М.Г., Поликарпов А.И. и др.* Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. СПб.: Соликамск, 2000. 400 с.
- Карта поверхностей* выравнивания и кор выветривания СССР. М., 1972.
- Копнин В.И.* Этапы и условия складкообразования на Верхнекамском месторождении калийных солей // Геотектоника. 1983. № 6. С. 46-59.
- Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: Эpsilon Плюс. 2013. 367 с.
- Макеев В.М., Макарова Н.В., Дорожко А.Л., Суханова Т.В., Коробова И.В.* Новейшая тектоника Пермского Предуралья // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ: матер. XLVIII тектон. совещ. М.: ГЕОС, 2016а. Т. 1. С. 350-355.
- Макеев В.М., Мамаев Ю.А., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В.* Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий калийных рудников к опасным геологическим процессам // Сергеевские чтения: матер. годичной сессии Науч. Совета РАН. 2016б. Вып. 18. С. 638-643.
- Макеев В.М., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В., Бондарь И.В.* Неотектоника южной части Верхнекамского месторождения калийных солей в связи с обеспечением геодинамической безопасности рудников // Сергеевские чтения: матер. годичной сессии Науч. Совета РАН. 2017. Вып. 19. С. 101-106.
- Осипов В.И., Барях А.А., Санфиров И.А., Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Карстовая опасность при затоплении калийных рудников в г. Березники Пермского края Российской Федерации // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 4. С. 356-361.
- 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. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. № 2. С. 142-148.
- Плиоцен и плейстоцен* Волго-Уральской области / под ред. М.А. Камалетдинова, В.Л. Яхимович. М.: Наука, 1981. 176 с.
- Трапезников Д.Е., Чайковский И.И.* О строении и природе Дуринского прогиба на Верхнекамском месторождении солей //

- Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ: матер. XLVIII Тектон. совещания. М.: ГЕОС, 2016. Т. 2. С. 271-275.
- Трифонов В.П. Новейшая тектоника Урала. Геология СССР. Т. 12, ч. 1. М.: Недра, 1969. С. 205-240.
- Чайковский И.И. Основные этапы формирования тектонических нарушений в водозащитной толще Верхнекамского калийного месторождения // Горный журнал. 2008. № 10. С. 41-44.
- Чайковский И.И. Типизация основных механизмов соляной тектоники мира: Верхнекамское месторождение как эталон многоэтапного гравитационного скольжения // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. №1. С. 18-37.
- Чайковский И. И., Калинина Т. А., Коротченкова О. В. Тектонические и эпигенетические процессы в надсолевой толще Верхнекамского месторождения // Литосфера. 2015. № 5. С. 71-80.

## Neotectonics and Modern Geodynamics of Verkhnekamskoe Potash Salt Deposit

V.M. Makeev<sup>a</sup>, N.V. Makarova<sup>b</sup>, A.L. Dorozhko<sup>a</sup>, T.V. Sukhanova<sup>b</sup>, I.V. Korobova<sup>a</sup>, I.V. Bondar<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), 13 Ulanskiy Lane, Bld. 2, Moscow 101000, Russia; E-mail: vmakeev@mail.ru; a\_dorozhko@mail.ru;

<sup>b</sup>Lomonosov Moscow State University, Leninkie gory, Bld. 1, Moscow 101000, Russia; E-mail: tani-kamgu@mail.ru

New insight on the structure of the Verkhnekamskoe potash salts deposit, which can affect the current development planning, and be an underlying condition of the negative natural-technological processes, is considered in this paper. Based on the structural geodynamic study, three neotectonic areas (North, Central and South) were identified within the previously established Solikamsk uplift. These areas differ by advanced structure types, geodynamic conditions of their formation, and degree of inheritance of salt structures. The origin of the new structures is associated with lateral NW-SE compression, which formed reversal relationship of structures of different age and caused the activation of ancient faults. It is noted that, in order to prevent catastrophic failures and hazardous geological phenomena it requires accounting and evaluation not only of the ancient Hercynian dislocations, but the neotectonic structures and geodynamic conditions of their formation as well.

Key words: *neotectonic structures; lineament zones; geodynamic conditions; salt structures; hazardous processes; faults.*

### References

- Vostryakov A.V. 1967. Neogenovye i chetvertichnye otlozheniya, relief i neotektonika yugo-vostoka Russkoy planformy [Neogene and Quaternary deposits, relief and neotectonics of southeast of the Russian Platform]. Saratovskiy Universitet, Saratov, p. 354. (in Russian)
- Goretsky A.V. 1964. Allyuviiy velikikh antropogenovykh prerek Russkoy ravniny [Alluvium of the grate anthropogenic pra-rivers of the Russian Plane]. Nauka, Moskva, p. 415. (in Russian)
- Jonoridze N.M., Aristarov M.G., Polikarpov A.I. et al. 2002. Petrotectonicheskie osnovy bezopasnoy expluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliyno-magnievyykh soley [Petrotectonic basis of safe development of the Verkhnekamskoe potash salt deposit]. S.-Petersburg – Solikamsk, OGPU Solikamsk, p. 400. (in Russia)
- Karta poverkhnostey vyravnivaniya i kor vyvetrivaniya SSSR [The map of peneplanation

- planes and weathering crusts of the USSR]. 1972. Moscow. (in Russian)
- Kopnin V.I.* 1983. Etapy i usloviya skladkoobrazovaniya na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliynykh soley [Stages and conditions of folding at the Verkhnekamskoe potash salt deposit]. *Geotektonika*. 6:46-59. (in Russian)
- Kudryashov A.I.* 2013. Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley [Verkhnekamskoe salt deposit]. Moscow, Epsilon Plus, p. 367. (in Russian)
- Makeev V.M., Makarova N.V., Dorozhko A.L., Sukhanova T.V., Korobova I.V.* 2016a. Novyeyshaya tektonika Permskogo Preduralya [Newest tectonics of the Perm Preurals]. *In Tektonika, geodinamika i oreogenezis skladchatykh poyasov i platform. Mat. XLVIII tekton. konf., Moscow. GEOS. 1:350-355.* (in Russian)
- Makeev V.M., Mamaev Y.A., Dorozhko A.L., Makarova N.V., Sukhanova T.V., Korobova I.V.* 2016b. Strukturno-geodynamicheskie usloviya ustoychivosti teritoriy kaliynykh rudnikov k opasnym geologicheskim processam [Structural geodynamic conditions for sustainability of areas of potash mines to the hazardous geologic processes]. *In Sergeevskie chteniya. Mat. of annual session of the Scientific Board RAS. 18:638-643.* (in Russian)
- Makeev V.M., Dorozhko A.L., Makarova N.V., Sukhanova T.V., Korobova I.V., Bondar I.V.* 2017. Neotektonika yuzhnoy chasty Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley v svyazi s obespecheniem geodynamicheskoy bezopasnosti rudnikov [Neotectonics of south part of the Verkhnekamskoe potash salt deposit in connection with mines geodynamic safety]. *In Sergeevskie chteniya. Mat. annual session of the Scientific Board RAS. 19:101-106.* (in Russian)
- Osipov V.I., Baryakh A.A., Sanfirov I.A., Mamaev Y.A., Yastrebov A.A.* 2014. Karstovaya opasnost pri zatoplenii kaliynykh rudnikov v g. Berezniki Permskogo kraya Rossiyskoy Federatsii [Karst hazard due to flooding of potash mines in Berezniki, Perm Krai, Russian Federation]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 4:356-361.* (in Russian)
- Osipov V.I., Baryakh A.A., Sanfirov I.A., Mamaev Y.A., Yastrebov A.A.* 2016. Gidromekhanicheskie usloviya formirovaniya karstovykh provalov na territorii kaliynykh rudnikov g. Berezniki Permskogo kraya [Hydrogeomechanical conditions for the formation of karst failures in the territory of potash mines in Berezniki, Perm Krai]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2:142-148.* (in Russian)
- Ploitsen i pleystotsen Volgo-Uralskoy oblasti [Pliocene and Pleistocene of the Volga-Ural region]. 1981. M.A. Kamaletdinov and V.L. Yakhimovich Eds. Moscow, Nauka, p. 176.* (in Russian)
- Trapeznikov D.E., Chaikovskiy I.I.* 2016. O stroenii i prirode Durinskogo progiba na Verkhnekamskom mestorozhdenii soley [About structure and nature of Durynskiy depression at the Verkhnekamskoe salt deposit]. *In Tektonika, geodinamika i orogenezis skladchatykh poyasov i platform. Mat. XLVIII tekton. konf. Moscow. GEOS. 2:271-275.* (in Russian)
- Trifonov V.P.* 1969. Noveyshaya tektonika Urala [Newest tectonics of Urals]. *In Geology of USSR. V. 12. Part 1. Moscow, Nedra, pp. 205-240.* (in Russian)
- Chaikovskiy I.I.* 2008. Osnovnye etapy formirovaniya tektonicheskikh narusheniy v vodozashchitnoy tolshe Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya [Main stages of formation of tectonic dislocations in waterproof stratum of the Verkhnekamskoe potash deposit]. *Gornyy zhurnal. 10:41-44.* (in Russian)
- Chaikovskiy I.I.* 2013. Tipizatsiya osnovnykh mekhanizmov solyanoy tektoniki mira: Verkhnekamskoye mestorozhdenie, kak etalon mnogoetapnogo gravitatsionnogo skolzheniya [Typification of the main mechanisms of world salt tectonics: Verkhnekamskoye deposit as a standard of multi-stage gravitational sliding]. *Bulletin of Perm University. Geology. 1:18-37.* (in Russian)
- Chaikovskiy I.I., Kalinina T.A., Korotchenkova O.V.* 2015. Tektonicheskie i epigeneticheskie processy v nadsolevoy tolshe Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Tectonic and epigenetic processes in salt overlying layers of Verkhnekamskoe deposit]. *Litosfera. 5:71-80.* (in Russian)