

интегрированием сигнала в пределах такта с учетом полярности строб-импульса проводится интегрирование сигнала в пределах такта без изменения знака во второй половине такта. Переход выходных сигналов кода Манчестер-II через ноль в середине такта приводит к тому, что выходные сигналы интегрирования без изменения знака существенно меньше выходных сигналов интегрирования с изменением знака (практически нулевые для непрерывных последовательностей нулей и единиц и в 2 и более раза меньше для кодовых пар {01} и {10}). Если синхронизация нарушается (первым в фактическом тактовом интервале идет импульс строба отрицательной полярности, т. е. меандр стробирования смещается на полтакта), то значения выходных сигналов интегрирования меняются на противоположные как по значениям, так и по соотношению значений, что может использоваться для постоянного контроля правильности автосинхронизации и для немедленного восстановления синхронизации и исправления кода при сбое синхронизации.

Метод автосинхронизации тактовой частоты приемника и передатчика при использовании достаточно узкополосного селективного фильтра выделения частоты  $2f_0$  обеспечивает надежную синхронизацию на уровне статистических шумов на выходе кабеля, мощность которых может в несколько раз превышать среднюю мощность сигнала. Известные системы автосинхронизации в этих условиях полностью неработоспособны. Соответственно, интегрирование сигнала в пределах четко синхронизированных тактовых интервалов обеспечивает на высоком уровне шумов устойчивое декодирование сигналов. Предельное значение уровня шумов может определяться по устойчивости работы системы контроля фазовой синхронизации приемника и передатчика (разность интегралов со сменой и без смены знака на второй половине такта всегда должна иметь одну полярность).

Возможность уверенного приема сигналов на высоком уровне шумов позволяет повысить тактовую частоту кодирования при передаче сигналов минимум в 2 раза. При совместном использовании с блоком коррекции формы сигналов на выходе каротажного кабеля [2] тактовая частота кодирования может быть увеличена в 3-4 раза.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Д.В. и др. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1982. 528 с.
2. Давыдов А.В., Мамлеев Т.С. Частичная дековольция импульсного отклика каротажного кабеля // Известия УГТГА. Вып. 15. Серия: Геология и геофизика. 2002. С. 149-155.
3. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы. Часть 2. М.: Мир, 1988. 360 с.
4. Мамлеев Т.С., Давыдов А.В. Импульсная пропускная способность каротажных кабелей // Известия УГТГА. Вып. 15. Серия: Геология и геофизика. 2002. С. 155-166.

УДК 550.83+551.24

Г.Г. Касин, В.В. Филатов

#### КРАСНОУФИМСКИЙ РАЗЛОМ: СТРОЕНИЕ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ\*

Идея о том, что история развития геологических объектов запечатлена в их строении является основой исторической геологии, реализуется в природе в каждом конкретном случае по своему. Изучая Верхнекамское месторождение калийных солей, мы пришли к выводу о тесной связи его строения на различных масштабных уровнях с разломной тектоникой, представляющей собой дискретную иерархическую систему, которая начинается с отдельных трещин и заканчивается глубинными разломами. По современным представлениям, разлом любого ранга – это объемное геологическое тело, внутреннее строение которого определяется механизмом его образования и историей последующего развития.

В истории развития не только Верхнекамского месторождения, но и земной коры в пределах Среднего и Южного Урала большую роль играл и продолжает играть Красноуфимский глубинный

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 02-05-64239.

разлом. Вопрос внутренней структуры этой структуры в той ее части, которая служит западной границей месторождения, и посвящена настоящая статья.

Полноценное изучение геологической структуры глубинного заложения невозможно без ее исследования геофизическими методами. Представление о строении глубинной части Красноуфимского разлома дают данные метода ГСЗ; ее приповерхностная часть нами детально изучена по результатам площадных высокоточных гравиметровой и аэромагнитной съемок с использованием материалов бурения, результатов геоморфологических и других геофизических исследований.

Красноуфимский разлом (в дальнейшем К-разлом) на Среднем и Южном Урале контролирует по глубинным горизонтам западную границу Предуральского краевого прогиба. Правда, некоторые исследователи (Чувашов и др., 1988), используя, главным образом, приповерхностные структурные и фациальные признаки, иначе определяют положение этой границы. К настоящему времени положение К-разлома установлено в разрезе не менее чем на шести широтных профилях ГСЗ и ряде сейсмических профилей. На рис. 1 показаны схематичные разрезы земной коры вдоль Красноуфимского (юг Соликамской впадины) и Свердловского (Юрюзано-Сылвенская впадина) профилей ГСЗ и Кажим-Соликамского сейсмического профиля.

К-разлом относится к системе позднепротерозойских субмеридиональных структур, образовавшихся в раннем рифее в области сочленения Русской платформы и Урала [4]. Разлом закладывался несогласно с простираем древнейших субширотных структур карельской складчатости и контролировал заложение крупных рифейских авлакогенов [11]. По К-разлому происходили резкие ступенеобразные погружения поверхности дорифейского фундамента с образованием Бельского и Сосновского авлакогенов на территории нынешних Бельской и Юрюзано-Сылвенской впадин современного Предуральского прогиба. Мощность осадков рифейского возраста достигает здесь 4-6 км и более. В районе Соликамской впадины дорифейский фундамент также опускался, но на значительно меньшую глубину, вероятно потому, что с запада в это время вторгнулся Камский средний массив фундамента, отличавшийся повышенной устойчивостью к действию тектонических сил. Таким образом, как уже было отмечено, К-разлом определил плановое положение западной границы Предуральского прогиба. В послерифейское время также происходили сбросовые движения по К-разлому, но существенно меньшей амплитуды.

После рифея вплоть до верхнекаменноугольного времени земная кора восточной части Русской платформы, включая Предуральский прогиб, развивалась в платформенных условиях, но унаследованные движения блоков фундамента имели место, оказывая влияние на формирование палеозойских отложений или в виде образования приразломных локальных структур, или в виде резкой смены фациального состава осадков, или изменения мощности отдельных горизонтов. Подобные структурные и фациальные изменения установлены в девонских и каменноугольных отложениях в Пермском Приуралье вдоль К-разлома [11].

В нижнепермское время в Предуральском прогибе возобновились движения блоков сбросового характера. Они привели к наклону всего Соликамского блока земной коры на восток [3]. Антитетический характер этих движений свидетельствует, по-видимому, о том, что они происходили в условиях горизонтального сжатия. По сейсмическим данным внутри осадочного чехла в зоне К-разлома на фоне флексурной складки установлено три разрывных нарушения; ширина зоны К-разлома и по поверхностным, и по глубинным горизонтам составляет около 8-12 км.

Альпийский цикл тектогенеза характерен для земной коры Урало-Поволжья эпейрогеническими движениями наряду с блоковыми смещениями, которые происходили как по уже существовавшим разломам, так и по вновь образованным.

В Предуральском прогибе тектоническая активизация способствовала формированию соляных структур. Ярким примером проявления соляной тектоники служит Красновишерский вал по кровле солей, расположенный в зоне К-разлома. Возраст вала мы считаем раннемезозойским.

В поле силы тяжести К-разлом картируется аномалией горизонтального градиента. Эта аномалия широка в плане, и по ней сложно установить границы разломной зоны. Более уверенно их положение устанавливается по положению локальных гравитационных и магнитных аномалий, отражающих строение разломной зоны.

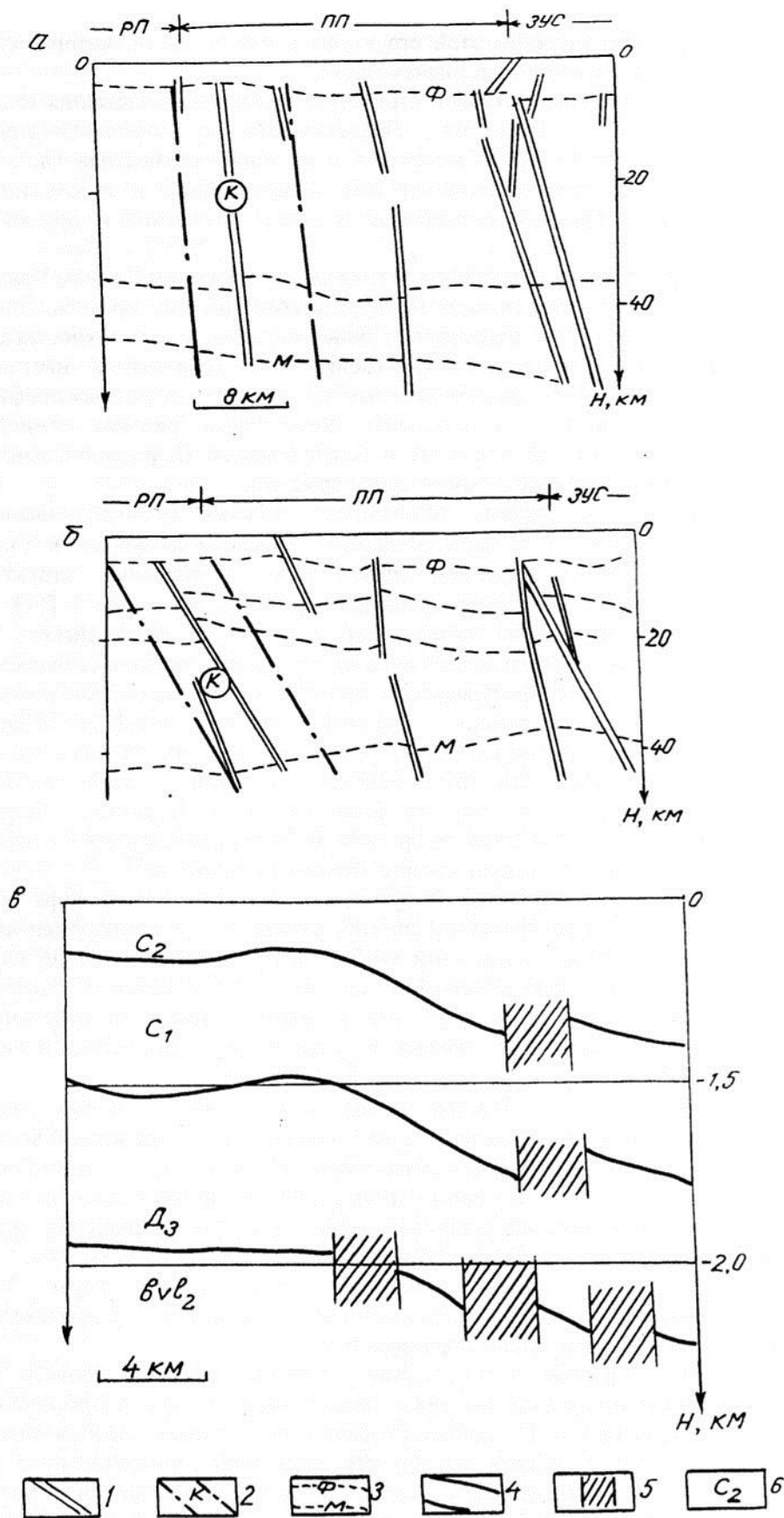


Рис. 1. Фрагменты схематических разрезов земной коры:

А, Б – разрезы по Красноуральскому (А) и Свердловскому (Б) профилям ГСЗ (по В.С. Дружинину и др.); В – разрез по сейсмическому профилю Кажим – Соликамск, РП – Русская платформа; ПП – Предуральский прогиб, ЗУС – Западно-Уральская зона складчатости; 1 – осевые линии глубинных разломов; 2 – зона Красноуфимского глубинного разлома; 3 – границы раздела в земной коре (Ф – поверхность фундамента, М – поверхность Мохо); 4 – отражающие границы в осадочном чехле; 5 – зоны тектонических нарушений; 6 – возрастные индексы

На карте магнитного поля (рис. 2, а) хорошо видна узкая линейная аномалия пониженных значений  $\Delta T$ ; амплитуда аномалий около 30 нТл, ее плановое положение соответствует осевой линии зоны К-разлома и Красновишерского вала. Ширина вала у его основания не более 5 км, амплитуда составляет в среднем 200-250 м [6]; вершина вала залегает на глубине 100-300 м, считая от дневной поверхности. Количественный анализ магнитной аномалии дает основание утверждать, что она обусловлена немагнитными соляными породами, залегающими среди более магнитных терригенных пород шешминского возраста. Вал, по нашему мнению, образовался в результате движения блоков вдоль К-разлома в послепермское время. Известно, что под действием давления более плотных пород, перекрывающих соль, последняя переходит в неустойчивое в динамическом отношении состояние и стремится переместиться вверх по разрезу [10]. При активизации К-разлома соль и перекрывающая ее толща испытывали давление снизу наподобие штамповых [2]. В результате происходила деформация перекрывающей толщи, ее разуплотнение и пластическое внедрение в нее соли.

Параллельно К-разлому и на некотором удалении от него в магнитном поле картируется несколько линейных незначительных по интенсивности аномалий (см. рис. 2, а), источниками которых служат трещинные структуры (рис. 2, б), являющиеся элементами структурного парагенезиса зоны динамического влияния К-разлома. Положение этих элементов для модели сброса показано на рис. 3, а.

Еще большее своеобразие имеет гравитационное поле в зоне К-разлома: вдоль его оси установлена цепочка отрицательных локальных аномалий, совпадающих в плане с линейной магнитной аномалией; локальные аномалии имеют эллиптическую форму, а их длинные оси ориентированы по простиранию разлома. Геологическая природа этих аномалий бурением установлена однозначно – они обусловлены брахиантиклинальными складками по кровле солей и по отношению к соляному валу являются структурами более высокого порядка, осложняя его форму. Последнее обстоятельство усиливает вывод о генетической связи соляных структур с тектоническими процессами, протекавшими и протекающими в зоне К-разлома. Предположение о современной активности разлома основывается на морфометрических данных: осевая линия разломной зоны совпадает в плане с границей морфоструктуры I порядка (Введенская, 1969), с неотектоническими нарушениями (Сигов, 1969) и с характерными особенностями речной сети.

В кинематическом отношении К-разлом на всех этапах тектогенеза развивался как сброс. Но анализ результатов детальной гравиметрической съемки показывает, что вдоль разломной зоны происходили не только субвертикальные, но и горизонтальные движения блоков. Об этом свидетельствует, во-первых, наличие в разломной зоне кулисообразной системы локальных отрицательных аномалий силы тяжести, источниками которых являются разрывные структуры (см. рис. 2, б), и, во-вторых, такая же кулисообразная система морфоструктур. Обе системы аномалий (гравитационных и топографических) однозначно указывают на то, что в новейшее время произошла смена кинематического типа К-разлома со сброса на правосторонний горизонтальный сдвиг (рис. 3, б). Такая кинематика характерна для многих субмеридиональных разломов в Соликамской впадине [5]. Полоса, образованная системой кулисных аномалий, имеющая ширину около 4-5 км, вероятно, может быть отождествлена с наиболее деструктивной частью области динамического влияния К-разлома.

В связи со сменой кинематики К-разлома в новейшее время следует обратить внимание еще на один факт: на всем протяжении К-разлома наиболее активным в сейсмическом отношении является тот его фрагмент, который граничит с Соликамской впадиной (Кассин, Филатов, 2002). Это неслучайное совпадение. Очаги землетрясений, согласно теории упругой отдачи, формируются в зонах разломов – сдвигов.

Соляные брахиантиклиналы и локальные гравитационные аномалии располагаются в зоне К-разлома в пределах Соликамской впадины приблизительно на одинаковом расстоянии друг от друга; расстояния между их центрами составляют: 6,2 – 6,0 – 4,1 – 6, 2 – 5,3 – 6,9 – 5,4 км, в среднем около 5,8 км. Аналогичная квазипериодичность в пространственном положении локальных соляных структур установлена также в зоне К-разлома, но только в Южном Приуралье. Здесь среднее расстояние между 23 соляными структурами составляет 5,1 км. Нам представляется, что отмеченная закономерность обусловлена тем, что соляные структуры в разломной зоне образовались в результате какого-то волнового процесса.



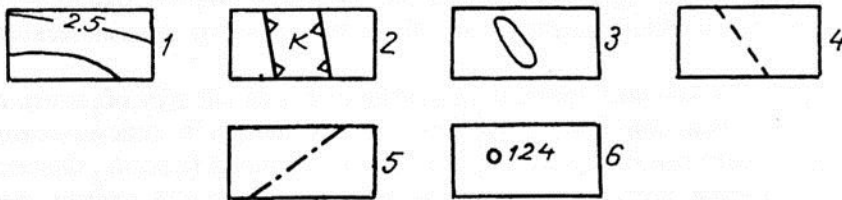
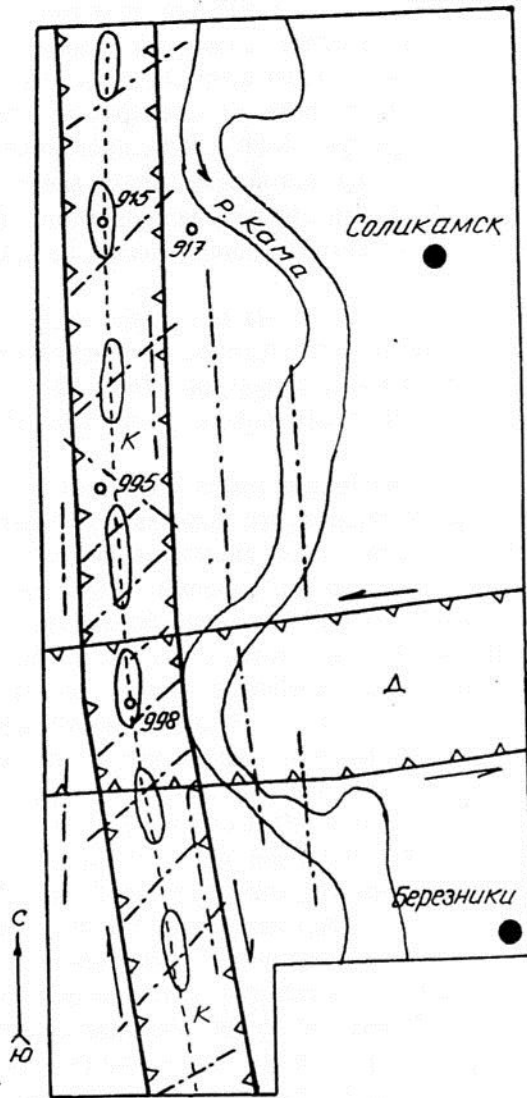


Рис. 2. Фрагмент карты изодинам  $\Delta T$  (А) (по А.В. Чурсину) и схема элементов тектоники зоны Красноуфимского разлома (Б):

1 – изодинамы (оцифрованы в сотнях нТл); 2 – границы зон Красноуфимского (К) и Дуринского (Д) разломов; 3 – контуры локальных гравитационных аномалий, обусловлены брахиантиклиналями по кровле осей (по Л.Д. Нояксовой); 4 – осевая линия линейной магнитной аномалии, обусловленной Красновишерским соляным валом; 5 – оси локальных трещинных зон и разрывных структур, установленных по геофизическим и геоморфологическим данным (по Г.Г. Кассину и Р.Г. Валееву); 6 – положение скважин и их номера

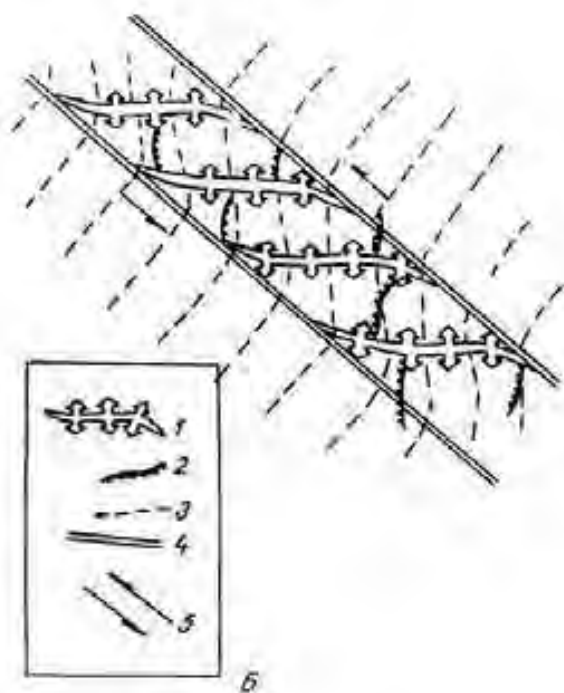
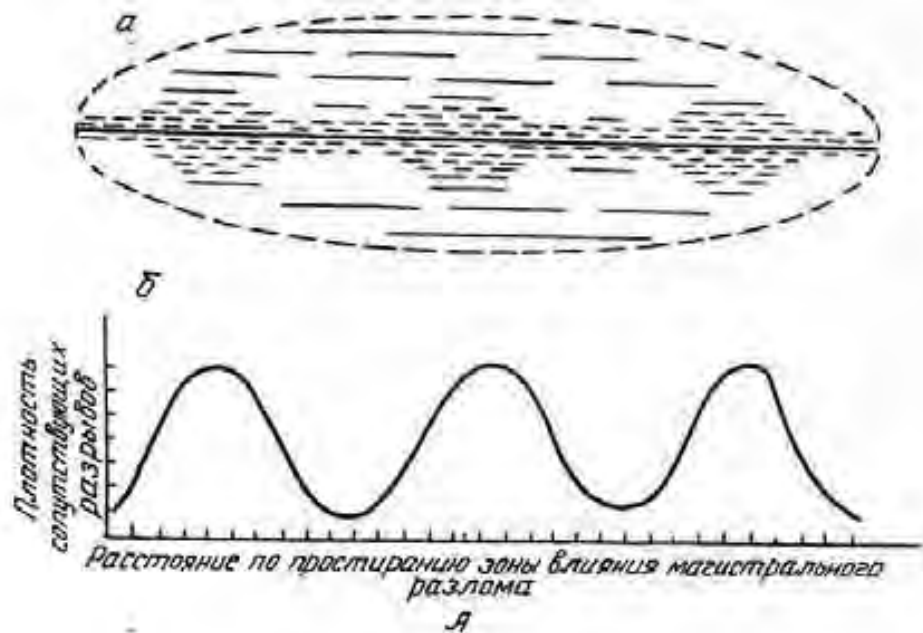


Рис. 3. Схемы строения разломных зон:

А - сброс (по Р.М. Лобацкой) а - план, б - изменение плотности разрывов вдоль простирания разломной зоны; Б - горизонтальный сдвиг (по В.С. Буртыли и др.): 1 - структуры растяжения, 2 - структуры сжатия, 3 - линии простирания пород, 4 - границы сдвиговой зоны, 5 - направления сдвига

Явление постоянного возникновения и распространения в литосфере тектонических или формационных волн различной частоты и скорости было установлено еще в позапрошлом веке.

Это постоянство движений колебательного типа (курсив наш) М.А. Садовский [9] считал вторым по важности свойством земной коры после ее дискретности. По мнению А.В. Николаева (1994), фундаментальными является такое свойство земной коры, как ее высокая виброчувствительность к слабым сейсмическим воздействиям. «Это свойство, - пишет он, - присуще и самой верхней части земной коры, осадочной толще, где оно выявляется как сейсмоэмиссионный отклик на воздействие сейсмического вибратора или удаленного сильного землетрясения». Ю.А. Косыгин и др. (1988) указывают, что источником тектонических волн служит постоянная пульсация Земли, зависящая от силы тяжести, теплового режима, космического влияния и других факторов, и что для описания наблюдаемой ритмичности тектонических движений можно использовать математический аппарат волновой механики.

Взаимодействие деформационных волн с геологическими объектами, характеризующимися частотами собственных колебаний, может приводить при определенных условиях к возникновению резонанса, автоколебательных систем [7], стоячих волн и как следствие - к концентрации упругой энергии в локальных участках геологической среды. Наиболее интересными объектами в этом отношении являются разломы, особенно глубинные. Результаты теоретических расчетов показывают, что зоны разломов можно рассматривать как волноводы, в которых формируются стоячие волны [8]. Эти волны образуются как под действием внутренних, так и внешних по отношению разломной зоны силовых источников [1].

Переходя к характеристике К-разлома, можно высказать следующие предположения о его модели. В геометрическом отношении образом этого разлома следует считать пласт, крутопадающий на восток; его длина по простиранию около 1000 км, по падению не менее 50 км, т. е. он пронизывает земную кору, а ширина в поперечном направлении около 15 км. Породы, слагающие разломную зону, имеют пониженные плотность и скорости распространения упругих волн благодаря их относительно повышенной раздробленности. Под воздействием внешних и внутренних силовых источников в разломной зоне могут генерироваться монотипные волны, для которых боковые грани пласта при благоприятных условиях становятся отражающими границами и тогда при интерференции упругих волн (также при благоприятных условиях) образуются стоячие волны. На участках равноудаленных друг от друга пучностей будет происходить деформирование геологической среды, ее разрушение образованием соответствующих структур. В зоне К-разлома это соляные структуры: Красновишерский вал и осложняющие его брахиантиклинали. Вероятно, вал образовался на участке пучности длиннопериодной волны, а брахиантиклинали - короткопериодной. Первой сформировалась длиннопериодная стоячая волна, второй по времени - короткопериодная. Современный динамический режим земной коры в районе Верхнекамского месторождения таков, что стоячие волны здесь могут образовываться как под действием внешних, так и внутренних силовых источников. Блок, в котором находится месторождение, движется, погружаясь с максимальной в Приуралье скоростью 6 мм/год, а в зонах внутриблоковых разломов, и, как было отмечено выше, в зоне К-разлома находятся очаги землетрясений.

Важными свойствами глубинных разломов являются их фрагментарность, относительная обособленность фрагментов, смена кинематического режима движения в процессе развития, связь внутреннего строения с кинематикой и др. Установление любого из этих свойств представляет непростую задачу. На примере Соликамского фрагмента К-разлома мы показали, пожалуй, впервые в отечественной практике, как можно решать некоторые из них с помощью геофизических методов: тектонофизический подход к анализу аномалий в гравитационном и магнитном полях позволил установить внутреннее строение разломной зоны, обосновать ее кинематический режим на разных этапах геологической истории и высказать гипотезу о механизме формирования в ее пределах соляных структур.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амурский Г.И. Дистанционные методы изучения тектонической трещиноватости пород нефтегазоносных территорий. М.: Недра, 1988. 164 с.
2. Гзовский М.В. Моделирование тектонических полей напряжений и разрывов // Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1974. № 6. С. 527-545.
3. Касни Г.Г., Маловичко А.К., Новоселицкий В.М. и др. Гравитационная модель земной коры северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции / Гравитационная модель земной коры и верхней мантии Земли. Киев: Наукова думка, 1979. С. 168-175.

4. **Кассин Г.Г., Шершнев К.С.** Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала: методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С. 84-88.
5. **Кассин Г.Г., Филатов В.В.** К проблеме геодинамического районирования территории Верхнекамского месторождения калийных и калийно-магниевых солей // Изв. УГГГА. Вып. 13. Серия: Геология и геофизика. 2001. С. 186-191.
6. **Кудряшов А.И.** Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
7. **Летников Ф.А.** Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1992. 187 с.
8. **Николаевский В.Н., Рамазов Т.К.** Генерация и распространение тектонических волн в дольглубинных разломах // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1986. № 8. С. 3-13.
9. **Садовский М.А.** Автомодельность геодинамических процессов // Вестник АН СССР. 1986. № 8. С. 3-12.
10. **Шейдеггер А.** Основы геодинамики. М.: Недра, 1973. 384 с.
11. **Ярош А.Я.** Строение кристаллического фундамента востока Русской платформы и миогеосинклинальной области Урала: Дис.... д-ра геол.-мин. наук. Свердловск, 1968. 433 с.

УДК 553.94

С.М. Крылатков, Н.А. Крылаткова, О.Б. Нещеткин

### ИССЛЕДОВАНИЕ КАРСТООПАСНЫХ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Карстовые процессы достаточно широко распространены на территории России. Важной является задача изучения карста в тех районах, где инженерные сооружения находятся в пределах закарстованных зон. Особую остроту проблема изучения и мониторинга карстовых явлений приобретает для участков железных дорог, как правило, расположенных в благоприятных для развития карста условиях: в долинах рек, межгорьях и т. п. Несмотря на имеющиеся технические решения по обеспечению устойчивости оснований этих сооружений, большие динамические нагрузки, вызываемые движением железнодорожных составов, приводят к значительным изменениям в грунтах, подверженных карстовым процессам. В результате техногенного воздействия на грунтовое основание скорость и объемы карстовых процессов увеличиваются, что приводит к ухудшению условий эксплуатации железных дорог и как следствие - к их аварийному состоянию.

К настоящему времени накоплен немалый опыт применения наземной сейсморазведки при исследовании карста [1]. Инженерно-сейсмические исследования карстовых участков могут базироваться на том, что имеющиеся различия физических параметров горных пород в областях развития карста создают благоприятные предпосылки для применения наземной сейсморазведки. Сейсморазведка может успешно использоваться при определении мощности и состава рыхлых отложений, глубины залегания УГВ, картирования верхней границы карстующейся толщи и обнаружения в ней карстовых полостей. Для решения этих задач изучаются такие характеристики волнового поля и упругие параметры массива горных пород, как: *тип и количество выделяемых сейсмических волн; форма годографов волн; скорости распространения упругих волн; амплитуды сейсмических волн; спектральный состав колебаний; характеристики затухания упругих волн.*

Традиционно при исследованиях карста наиболее информативными считаются сейсмический, гравиметрический и электрический методы. Важной особенностью сейсмического метода, в отличие от других геофизических методов, является возможность регистрации в рамках одного физического наблюдения (одной многоканальной сейсмограммы) нескольких типов волн - продольных, поперечных, обменных, поверхностных. При этом можно изучать и кинематические (время, скорость), и динамические (амплитуда, частота) характеристики этих волн. Скоростные и динамические характеристики волн позволяют определить состав горных пород. Многообразие траекторий распространения различных сейсмических волн (прямые, отраженные, рефрагированные, головные, дифрагированные и т. д.) позволяет определять положение сейсмических границ в сложно построенной среде в плане и по глубине. *Использование в рамках одной методики нескольких типов волн* ставит инженерную сейсморазведку в особое положение. Она является комплексом различных