

УДК 502.7:504.058

ОСОБЕННОСТИ ТЕКТониКИ И ГЕОДИНАМИКИ ОТЛОЖЕНИЙ КУНГУРСКОГО ЯРУСА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2014 г. Ю. М. Нестеренко, А. Г. Соколов, М. Ю. Нестеренко

Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН

460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29.

E-mail: geocol-ONC@mail.ru

Поступила в редакцию 12.07.2013 г.

В Южном Предуралье эксплуатируется крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение и множество месторождений нефти. В районах их расположения сейсмичность многократно увеличилась. Формирование и эволюция напряженно-деформированного состояния, геофизических процессов, сейсмичность земной коры определяются ее строением, естественной динамикой и совокупностью воздействий на геологическую среду. В связи с этим, в работе выполнен в необходимом объеме анализ геологического строения и геодинамики верхней части земной коры Южного Предуралья, уточнена ее геодинамическая модель и проанализировано напряженно-деформированное состояние, в значительной мере определяющие реакцию геологической среды на техногенные воздействия.

Ключевые слова: *Южное Предуралье, антропогенное воздействие, ОНГКМ, мониторинг, сейсмичность, гидродинамическая воронка, геодинамика.*

ВВЕДЕНИЕ

В Южном Предуралье, на юго-востоке Восточно-Европейской платформы (рис. 1), более сорока лет интенсивно эксплуатируются крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) и более сотни месторождений нефти. Высокая плотность месторождений и интенсивная их разработка обусловили техногенные изменения в геологической среде и подземных водах на ОНГКМ на площади порядка 5 тыс. км², а в районах плотно расположенных крупных месторождений нефти до 10 тыс. км² и более. Добыча нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах приводит к изменениям в природной геологической среде и вызывает значительную перестройку гидрогазодинамических и геодинамических процессов в земной коре на глубины до десяти и более километров и на площадях до нескольких десятков тысяч квадратных километров. Это создает условия для возникновения комплекса экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения в регионе. В крупных нефтегазоносных районах развиваются опасные физико-геологические и техноприродные процессы, обуславливающие повышение сейсмической активности с непредсказуемыми последствиями.

По данным наших исследований [4], на разрабатываемых месторождениях углеводородов (УВ) в Южном Предуралье фиксируется в среднем 2–3

сейсмических события в месяц с магнитудой М_l 1–2 и более, что на порядок больше, чем за пределами месторождений. Техногенные изменения в недрах Земли в платформенных условиях при добыче УВ протекают относительно быстро в сравнении с естественной геодинамикой и, как правило, имеют отдаленные последствия, которые могут привести к крупнейшим техногенным катастрофам и чрезвычайным ситуациям: землетрясениям, провалам земной поверхности, разгерметизации нефтегазовых залежей, изменениям в балансе и качестве подземных вод зоны активного водообмена.

Формирование и эволюция напряженно-деформированного состояния, геофизических процессов, сейсмичность земной коры определяются ее строением, естественной динамикой и совокупностью воздействий на геологическую среду. В связи с этим, в работе выполнен в необходимом объеме анализ геологического строения и геодинамики верхней части земной коры Южного Предуралья, уточнена ее геодинамическая модель и проанализировано напряженно-деформированное состояние, в значительной мере определяющие реакцию геологической среды на техногенные воздействия.

Основным условием образования ловушек и месторождений нефти и газа является наличие региональных покровов над продуктивными отложениями. Такие покровы обычно представлены пластичными породами, непроницаемыми для отдельных компонентов потока флюидов. В Южном Пред-

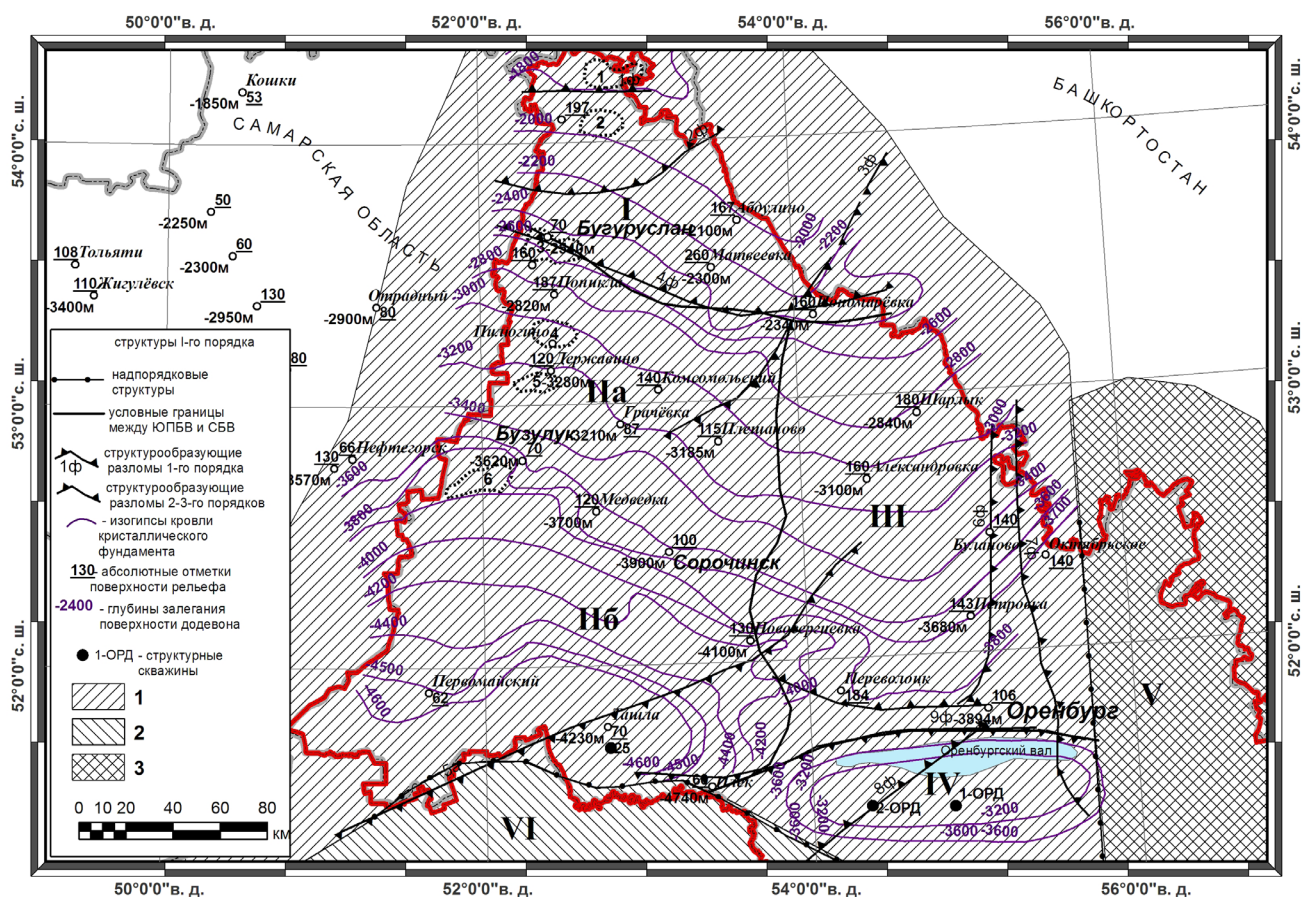


Рис. 1. Структурная карта-схема Южного Предуралья.

Структурные элементы надпорядковые (заштриховано): 1 – Волго-Уральская антеклиза, 2 – Прикаспийская синеклиза, 3 – Предуральский краевой прогиб; 1-го порядка: I – южный склон Татарского свода; II – Бузулукская впадина: северный борт (IIa), южное погружение (IIб); III – Восточно-Оренбургское сводовое поднятие; IV – Соль-Илецкий свод; 4 – границы надпорядковых структур; 5 – условные границы структур 1-го порядка; 6 – структурообразующие разломы 1-го порядка; 7 – изогипсы кровли кристаллического фундамента; 8 – абсолютные отметки поверхности рельефа; 9 – глубины залегания кровли кристаллического фундамента; 10 – структурные скважины.

уралье в качестве такого регионального экрана выступают галогенные (в основном галитовые по составу) образования кунгурского яруса, толщины которых на крыльях складчатых структур могут достигать нескольких километров. Высокие экраняющие способности соли связаны с низкими величинами пористости и поровой фильтрационно-диффузионной проницаемости и практическим отсутствием в солях деформационной трещиноватости. Однако, прочностные свойства солей в условиях мгновенного, в сравнении с геологическим временем, формирования техногенных и природно-техногенных напряжений существенно меняются. Здесь соль, неоднократно переуплотняясь, в значительной мере теряет первоначальную пластичность, упрочняется и становится хрупкой. Монолитность галогенных отложений, возможность их самозалечивания осложняются наличием у них зна-

чительного количества больших и малых образований непластичных и хрупких ангидритов, формирующих в них ослабленные зоны. В совокупности это ведет к частичному разрушению монолитности покрышки. В возникающих областях трещиноватости проницаемость на много порядков больше, чем в ненарушенных ее частях.

В результате сочетания неблагоприятных факторов для монолитности галогенных отложений на участках локальных снижений их мощностей в условиях формирования техногенных и природно-техногенных напряжений возможны их прорывы [5]. Разрушение солевого каркаса может иметь катастрофические последствия.

Поэтому в условиях Южного Предуралья, исследование тектоники и геодинамики отложений кунгурского яруса в естественных и техногенно измененных условиях особенно актуально.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Тектоническое строение Оренбургского Предуралья характеризуется сочленением нескольких тектонических районов платформенной части Оренбургской области: Восточно-Оренбургского структурного выступа, Соль-Илецкого выступа, Южного погружения Бузулукской впадины, Предуральского прогиба и Прикаспийской впадины. Строение кунгурского яруса отражает тектонические элементы глубоких горизонтов, но со своими особенностями (рис. 2).

Широко развитая соляная тектоника в районах Предуральского прогиба и Прикаспийской впадины обуславливает в них наиболее сложную морфологию поверхности кунгурского яруса. Иреньский горизонт кунгурского яруса на территории исследований везде представлен солями, однако, полномасштабная соляная тектоника проявляется только в Предуральском прогибе и Прикаспийской впадине. Согласно [7], для того, чтобы соль пришла в движение должно быть выполнено два условия: во-первых, соль должна находиться под достаточным давлением (при 300-м толщине соли мощность покрова должна быть около 1000–1500 м), во-вторых, должен возникнуть градиент давления. К этому следует добавить третье условие – для проявления соляной тектоники должен существовать замкнутый эвапоритовый бассейн, в пределах которого при достаточно высокой температуре происходит интенсивное осаждение соли, мощностью 300–3000 м и более. Такими бассейнами являлись Предуральский прогиб и Прикаспийская впадина.

Эволюция соляной тектоники определяется концентрической миграцией соли из внутренних, наиболее глубоких частей бассейна во внешние, более мелкие его области. Поэтому генетически наиболее ранняя стадия галокинетической эволюции отмечается в окраинных поясах, до которых соли доходят позднее. Наиболее показательным в этом отношении, является западный борт Предуральского прогиба, где рудиментарная малоамплитудная соляная тектоника захватывает районы Восточно-Оренбургского структурного выступа на севере и Соль-Илецкого выступа на юге.

Соляные антиклинали контролируются тектоническими силами и вытянуты параллельно осям региональных структур. Для Предуральского прогиба региональной структурой является Уральский хребет, ориентированный в меридиональном направлении, в этом же направлении ориентированы соляные антиклинали. Для Прикаспийской синеклизы региональной структурой является северный борт Прикаспия, который ориентирован в рассматриваемом районе в диагональном направлении с северо-запада на юго-восток. В этом же направлении картируются ближайшие к борту соляные валы.

Для более внутренних районов Прикаспия роль борта ослабевает, и соляная тектоника выражена в виде отдельных более или менее изометричных, хаотически расположенных куполов.

На Восточно-Оренбургском сводовом поднятии (ВОСП) (рис. 1, 2) поверхность кунгурского яруса воздымается в северо-восточном направлении. Ближе к границе с Башкирией подъем усиливается, достигая нулевых отметок. По оси структурного выступа в отложениях девона и карбона на кунгурской поверхности выделяются малоамплитудные валы северо-восточной ориентировки. Так проявляются мобильные зоны девонского генезиса характерные для ВОСП.

В юго-восточной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия возникают осложнения, связанные с соляной тектоникой, – системы валов и прогибов от диагональной до субмеридиональной ориентировки при приближении к западному борту Предуральского прогиба. По сравнению с диапировой формой соляного тектогенеза, проявляющейся в Предуральском прогибе и Прикаспийской впадине, эта система имеет пликативные относительно сглаженные формы, которые следует отнести к переходной зоне галокинеза. В южной части ВОСП выделяется малоамплитудный прогиб широтной ориентировки, предвещающий Соль-Илецкий свод.

Соль-Илецкий свод представляет собой треугольник, четко ограниченный с востока структурами Предуральского прогиба, с юга – структурами Прикаспийской впадины, а с севера осложненный дислокациями широтной ориентировки, соответствующими Оренбургскому разлому и Оренбургскому валу одновременно. В данном случае эти дислокации – реакция пластичных солей кунгура на мобильную зону Оренбургского разлома. На рис. 2 видно резкое отличие морфологии кунгура в зоне Оренбургского вала от морфологии ранее описанных районов. Здесь наблюдаются широтно ориентированное чередование малоамплитудных валов и прогибов, коррелируемое с осью структуры. Этот сложный рисунок поверхности кунгурского яруса, по нашему мнению, является следствием постоянного подъема, продолжающегося и в настоящее время. Сама мегаантиклиналь, соответствующая Оренбургскому валу, возникшая в процессе инверсии грабена находится в фазе воздымания с франского времени девона.

К югу от Оренбургского вала картируются сравнительно малоразмерные изометричные по форме соляные купола или вытянутые в меридиональном направлении гряды (вдоль границы с Предуральским прогибом), которые имеют пликативные формы и отнесены к переходной форме галокинеза. Механизм образования локальных соляных куполов пока неясен и выяснение их генезиса – предмет последующих исследований. По нашему мнению, они образовались в процессе уплотнения при соленакоплении, вызывающем повышение давления в подсолевых водоносных

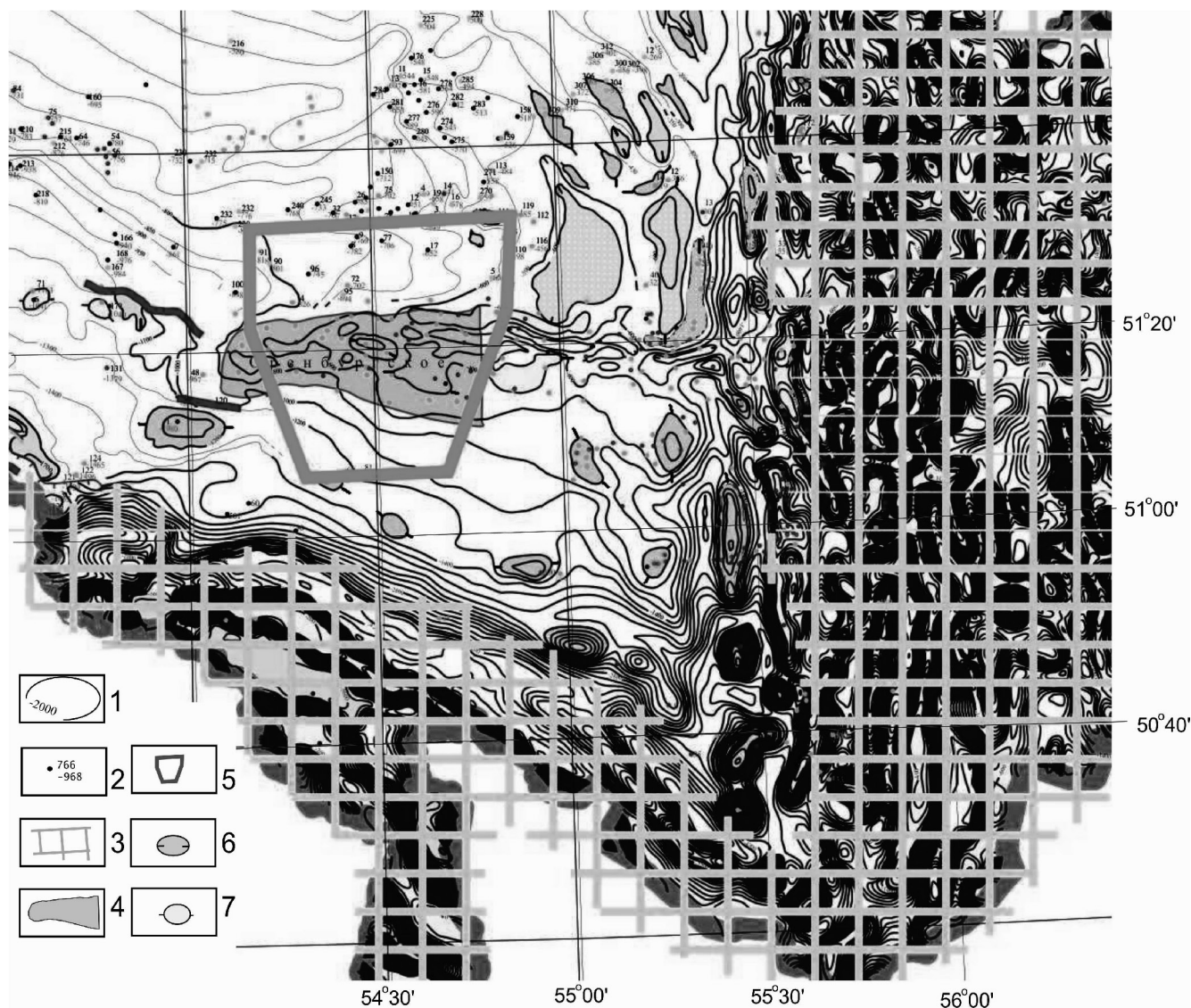


Рис. 2. Фрагмент структурной карты по кровле отложений кунгурского яруса [8].

1 – изогипсы по кровле кунгурского яруса; 2 – скважины, вскрывшие кунгурские отложения, с отметками по кровле кунгурского яруса; 3 – область развития полномасштабной соляной тектоники; 4 – месторождения нефти и газа в кунгурских отложениях; 5 – участок детальных исследований; 6 – синклинали; 7 – антиклинальные структуры.

горизонтах и выжимания воды через нарушения в галогенах. Испарение соленасыщенной воды привело к формированию купола.

ТЕКТОНИКА КУНГУРСКОГО ЯРУСА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

На участке детальных исследований, приуроченном к сводовой части Оренбургского вала (рис. 2), проанализированы высокоточные гравиразведочные работы гравиразведочной партии ОАО “Нафтакон” [2], сейсморазведочные работы 2Д разных лет, отработанные ОАО Оренбургская геофизическая экспедиция (ОГЭ) в пределах указанного участка и, в завершение, проведен предварительный анализ мате-

риалов 3Д, отработанных в 2006 и 2008 гг. ОАО ОГЭ по заказу ООО “Газпром добыча Оренбург” [1].

На карте изоаномал в редукции Буге закартированы линейные аномальные зоны субширотной ориентировки, которые авторами отчета были увязаны с особенностями строения кунгурской толщи. На мелкомасштабных гравиметрических картах 2-миллигальной съемки эти аномалии только намечались. Аномальные зоны Δg проинтерпретированы как чередование соляных валов и прогибов в отложениях кунгурского яруса и построена соответствующая структурная карта по кровле отражающего горизонта Кн – кровле соленосных отложений кунгура (рис. 3). При этом валы и прогибы не являются непре-

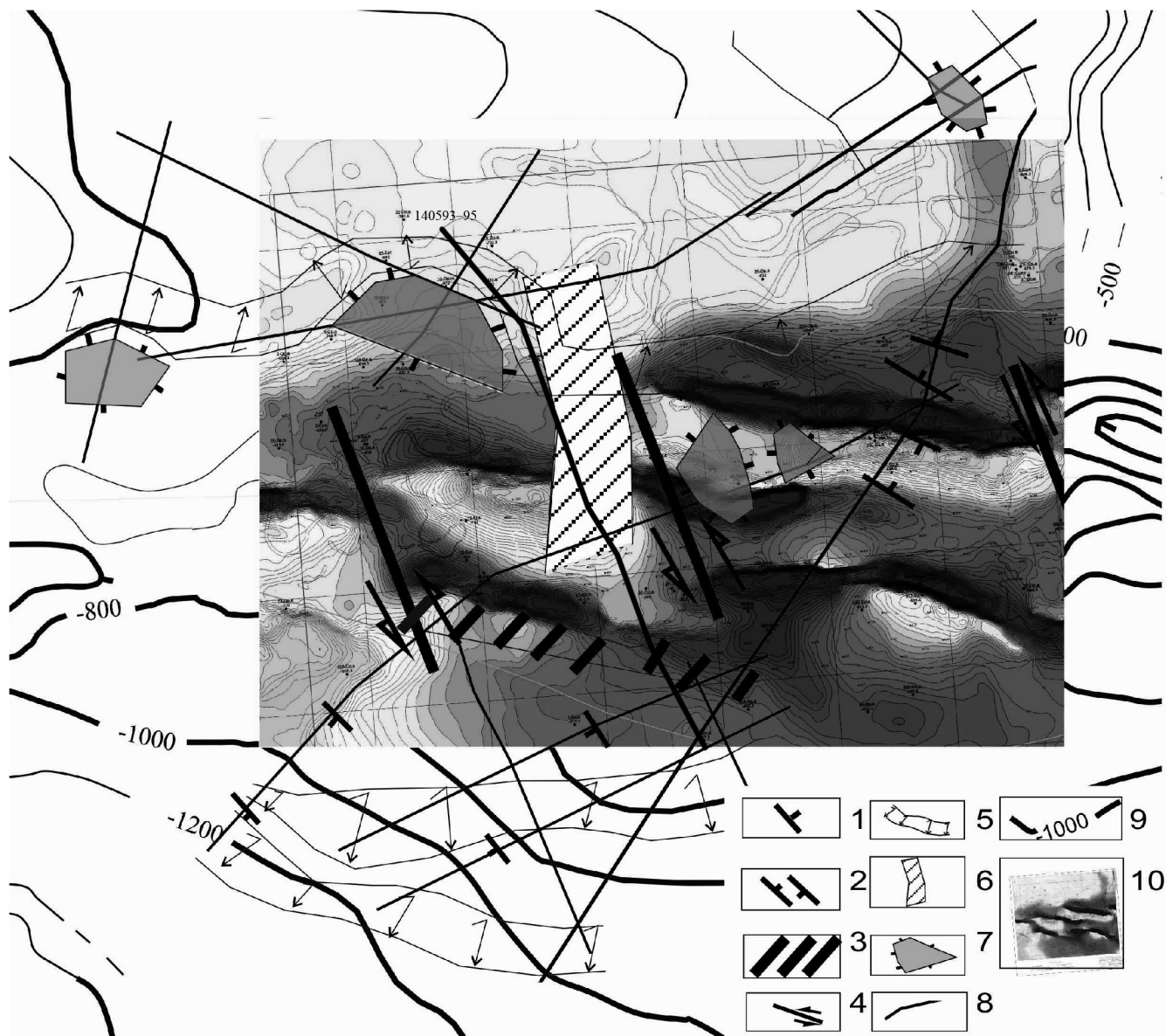


Рис. 3. Элементы тектоники по отражающему горизонту Кн (кровле соленосных отложений кунгурского яруса) в сопоставлении с картой по ОГ Кн.

1 – признак дизъюнктивного смещения, 2 – признак грабенообразного прогиба, 3 – предполагаемая зона грабенообразного прогиба, 4 – линии предполагаемых сдвигов, 5 – фрагменты флексур, 6 – линейный прогиб, 7 – приподнятые участки, 8 – сейсмические профили, 9 – изогипсы по кровле кунгурского яруса с региональной карты, 10 – структурная карта по ОГ Кн по данным гравиметрии.

рывными, а в нескольких местах по их простиранию оказываются смещенными на расстояние до 4 км в субмеридиональном направлении. Это дало нам основание считать, что по этим местам смещения проходят линии горизонтальных сдвигов под действием тангенциальных сил, действующих поперек простирания валов. Мы отметили эти линии предполагаемых сдвигов на рис. 3. Подобного рода проявления сдвиговых деформаций в новейшее время отмечены в трудах М.Л. Коппа применительно к Оренбургской области [3].

Наряду с гравиметрическими в отчете “Нафтакома” представлен сейсмический материал в виде временных разрезов региональных и площадных съемок. Особенностью интерпретации А.Г. Гавриковым является представление на временных разрезах всего комплекса осадочного чехла, включая кунгурские отложения, в то время, как в партиях ОГЭ целевыми были подсолевые отражения, а интересующие нас солевые и надсолевые практически отсутствовали на рабочих временных разрезах. Выяснилось, что, по данным сейсморазведки, строение толщи кунгу-

ра и надсолевых отложений гораздо сложнее, чем чередование валов и прогибов, отмеченных гравиразведкой. Наряду с пликативной (плавной тектоникой) отмечаются резкие взбросовые крылья или, наоборот, подобие провалов с резким ухудшением волновой картины. Часто эти элементы имеют линейный характер, что говорит о влиянии разрывной тектоники с чередованием зон сжатия и разряжения (рис 3). К сожалению, в полной мере использовать материал 2Д для прослеживания упомянутых зон нет возможностей из-за редкой и нерегулярной сети профилей (схема расположения сейсмических профилей показана на рис. 3). На рис. 4 по одному из профилей вынесены наиболее характерные тектонические признаки поведения отражающего горизонта (ОГ) кунгура (Кн), приуроченного к кровле кунгурского яруса: дизъюнктивные смещения, грабенообразные прогибы, сводовые поднятия, крутые флексуры и др. В то же время, временные разрезы иллюстрируют четкие проявления дизъюнктивной тектоники по отражениям девона и ордовика, так как основная фаза тектогенеза приурочена к франскому ярусу.

Сопоставляя тектонику девона, карбона и перми, можно определенно говорить об унаследованности дизъюнктивной тектоники девона в верхних этажах осадочного чехла. Разломы, как правило, являются мобильными зонами в течение всей геологической жизни. Тектонические блоки, ограниченные разломами девонского времени, живут в последующие эпохи. На отложения соли и, в частности, на пласт кунгурской соли благодаря ее текучести под давлением вышележающих терригенных отложений действуют как вертикальные, так и горизонтальные силы, поэтому морфология солевых пластов отражает всю динамику тектогенеза, начиная с послепермского и до новейшего времени. Авторами составлена тектоническая схема по результатам анализа отражений девона и ордовика (рис. 5).

Одной из основных структур здесь картируется Оренбургский разлом, по которому проходит северная граница Оренбургского блока. Оренбургский разлом является глубинным разломом [3], заложенным в протерозое как северная граница грабена, затем, в девонское время, он возобновился с обратным знаком. Южный склон Оренбургского вала сложен малоамплитудными нарушениями широтного простирания, следующими параллельно друг другу. Они являются, в основном, сбросами с опущенными южными крыльями. Эти сбросы образовались на фоне южного погружения Оренбургского блока. По пермским горизонтам им соответствуют более крутые погружения на юг, а по девонским – фрагменты флексур. Кроме этих регулярных тектонических зон фрагментарно выделяются отдельные нарушения, четко прослеживаемые на профилях, но из-за недостаточной сети профилей протяженность их не установлена.

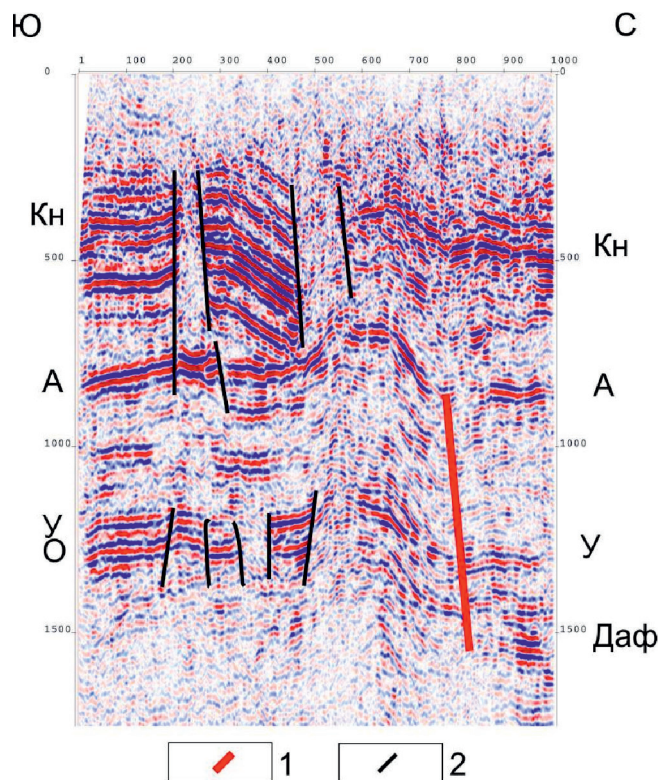


Рис. 4. Временной разрез по профилю 140593-95 (см. рис. 3, 5).

1 – Оренбургский глубинный разлом, 2 – тектонические нарушения низшего порядка. Отражающие горизонты: Кн – кровля кунгурского яруса, А – кровля артинского яруса, У – кровля бобриковского горизонта, Даф – кровля афинского горизонта, О – поверхность ордовикских отложений.

Таким образом, анализ временных разрезов, сопоставление тектонических схем по различным интервалам разреза позволяет сделать вывод о ведущей роли мобильных зон, изначально активизированных в франский тектогенез и неоднократно подновляемых в течение всего палеозойского времени. Кунгурская соль изначально пластового залегания под давлением вышележащих позднепермских, мезозойских и кайнозойских, преимущественно терригенных отложений приобретала свойства текучести и диапиризма при возобновлении тектонических подвижек. Поведение соли более амплитудно и непредсказуемо по сравнению с компетентными осадками.

Анализ материалов сейсморазведки 3Д позволяет сделать вывод о том, что структурные построения, выполненные детальными гравиметрическими работами и сейсморазведкой 3Д принципиально совпадают. Это дало возможность составить сводную тектоническую схему для объединенного детального участка (рис. 6). Тектоника кунгура рассматривается в сопоставлении с Оренбургским глубинным разломом, протрассированным по дан-

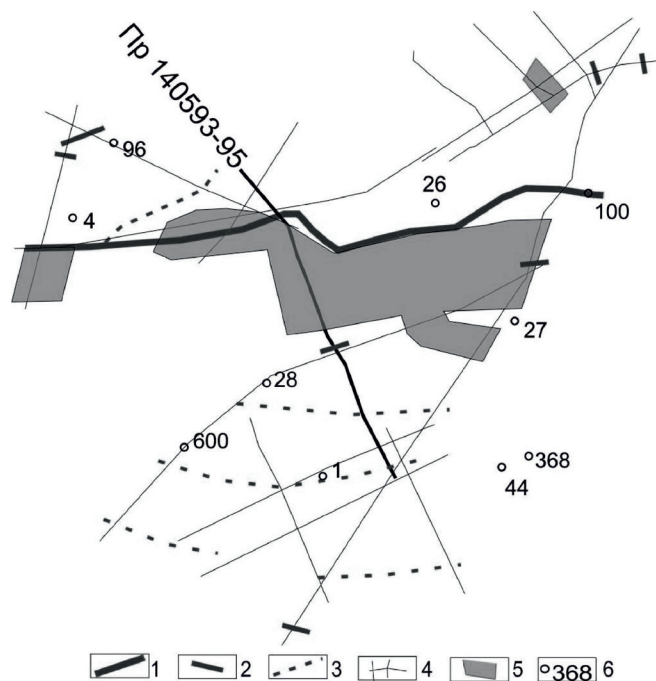


Рис. 5. Тектонические элементы девонских и до-девонских отложений.

1 – Оренбургский глубинный разлом; 2 – признаки разломов на сейсмических профилях; 3 – предполагаемые линии разломов; 4 – сейсмические профили, участвующие в интерпретации; 5 – приподнятые валообразные зоны; 6 – скважины.

ным региональных и площадных сейсморазведочных работ [6], поскольку он играет определяющую роль в тектонике осадочного чехла. Все события рассматриваются в пределах Оренбургского блока, являющегося главным тектоническим элементом Соль-Илецкого выступа.

Тектоника кунгура, в первую очередь, отображается линиями резкого погружения отражающего горизонта Кн субширотного направления. Каждой такой линии соответствует переход от валообразного поднятия к линейному прогибу. Прослеживается двухзвенная система: вал – прогиб, вал – прогиб с уменьшением амплитуды в южном направлении. Первое – самое северное погружение – по временным разрезам имеет явные признаки сброса, на схеме оно показано как тектоническое нарушение. Амплитуда его достигает 900 м. Сбросовый, разломный характер данного осложнения в кунгуре и его активность в настоящее время подтвердились при мониторинге сейсмических событий сетью сейсмических станций отдела геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН. Сейсмические события, зарегистрированные в 2010–2012 гг. в пределах Оренбургского блока тяготеют к выделенной сбросовой зоне.

В результате анализа 3D-сейсморазведки подтверждаются линии сдвигов в ортогональном на-

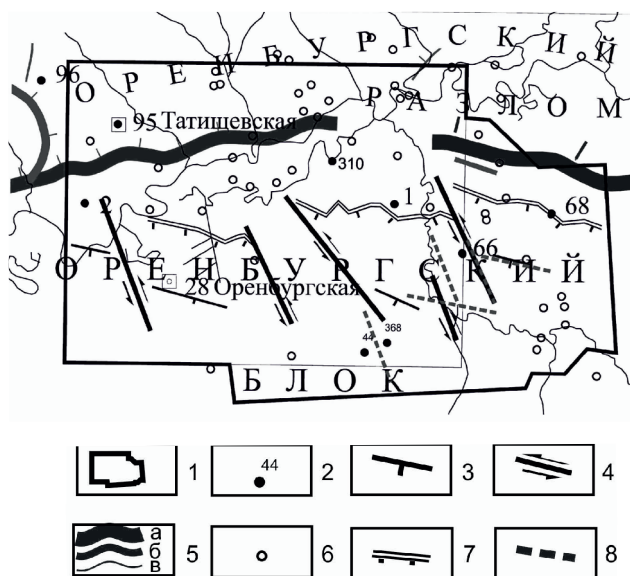


Рис. 6. Карта-схема сопоставления тектонических элементов по данным сейсморазведки 3D и гравитразведки.

1 – контур участка детальных работ; 2 – скважины; 3 – линии резкого погружения отражающего горизонта Кн; 4 – линии горизонтальных смещений; 5 – тектонические нарушения по отложениям девона (ордовика) по данным [6]: а – 1-го ранга (глубинные разломы ордовикского заложения), б – 2-го ранга (преимущественно франского тектоногенеза), в – 3-го ранга (второстепенные); 6 – сейсмические события; 7 – проявления сброса большой амплитуды ОГ Кн; 8 – тектонические нарушения, выделенные по ОГ девона и ордовика по данным 3D.

правлении, следующие через 10–12 км друг за другом. На детальном участке зафиксировано 3 сдвиговые зоны.

Характерно, что линии сбросов и сочлененные с ними линии прогибов и валов, несмотря на подчиненность Оренбургскому разлому, направлены под острым углом к нему. Возможно, это направление соответствует оперяющим разломам в фундаменте. О наличии тектонических нарушений малой амплитуды низшего порядка по сравнению с Оренбургским разломом говорят признаки их в додевонских отложениях на временных разрезах 3D. Они подтверждают блоковый характер строения додевонского комплекса и взаимное перемещение блоков (рис. 6), соответствующее тем перемещениям, которые проявляются в кунгурских отложениях в явном виде.

ВЫВОДЫ

В Южном Предуралье на месторождениях УВ солевые отложения кунгурского яруса предохраняют залежь от разгерметизации, поэтому необходимо учитывать строение и геодинамику этих отложений при разработке месторождений, строитель-

стве и эксплуатации инженерных, инфраструктурных, социальных и др. объектов.

Детальные исследования гравиразведкой и сейсморазведкой 3D на территории Оренбургского газоконденсатного месторождения дают представления о характере кунгурского тектогенеза. В частности, установлена разломная тектоника с амплитудой до 900 м. Исследования следует продолжить на детальном участке Оренбургского вала к востоку от изученной площади.

Работа выполнена при поддержке грантами фонда РФФИ № 14-05-97010 и Уральского отделения РАН № 12-Т-5-1006 и 12-У-5-1012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарь Е.В. Отчет о выполнении полевых сейсморазведочных и камеральных работ МОГТ-3Д в объеме 300 кв. км на Оренбургской-2 площади. Оренбург: Фонды ООО "Газпром добыча Оренбург", 2009.
2. Гавриков А.Г. Отчет о результатах гравиразведочных работ масштаба 1 : 25 000, комплексной обработки-интерпретации материалов сейсморазведки и гравиразведки на Оренбургской площади. Оренбург: Фонды ООО Оренбург газ добыча, 2007.
3. Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. 340 с.
4. Нестеренко Ю.М., Днистрянский В.И., Нестеренко М.Ю., Глянец А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Литосфера. 2010. № 4. С. 28–41.
5. Нестеренко М.Ю., Никифоров И.А. Геоинформационное моделирование динамики геологической среды в техногенно измененных условиях на примере Южного Предуралья // Вестник ОГУ. 2010. № 9. С. 128–135.
6. Соколов А.Г., Леверенц Д.А. Новые представления о строении Соль-Илецкого свода // Геофизика. 2004. № 5. С. 59–64.
7. Структурная геология и тектоника плит / Ред. К. Сейферт. Т. 1. М.: Мир, 1990. 256 с.
8. Яхимович Г.Д. Отчет по теме: Обоснование перспективных направлений и объектов для постановки ГРП на нефть, газ и конденсат в западной части Оренбургской области. Оренбург: Фонды ОАО ОренбургНИПИнефть, 2005. 300 с.

Рецензент П.В. Панкратьев

Tectonic and geodynamic features of Kungurian in the region of Southern Urals hydrocarbon deposits

Yu. M. Nesterenko, A. G. Sokolov, M. Yu. Ntsterenko

Geoecology Departemen of Orenburg Science Centre, Urals Branch of RAS

Europe's largest Orenburg gas condensate deposit and many oil deposits are developed In the Southern Urals. In areas of their location the seismicity increase manifold. Formation and evolution of the stress-strain state, geophysical processes and crustal seismicity are determined by its structure, natural dynamics and cumulative impacts on the geological environment. The analysis of the geological structure and geodynamics of upper crust of Southern Ural is carried out, its geodynamic model is refined for determine the reaction of geological environment to man-made impacts.

Key words: Southern Urals, anthropogenic impact, Orenburg gas condensate and oil deposits, seismicity, geodynamics.