

# **ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА МЕТОДОМ АНАЛИЗА КРИВИЗНЫ ПЛАСТА**

The method of bed curvature analysis used for selection of fracture collectors in the Devonian deposits of the central part of the Pripyat Trough. Areas with absolutely curvature more than  $3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$  that has higher collector degree with tectonic fracture supported by the core data are observed.

Выделение зон повышенной трещиноватости в пластах-коллекторах имеет большое значение при поисках и разведке месторождений углеводородов в Припятском прогибе. Возникновение этих зон связано с пластичными и последующими разрывными дислокациями, возникшими в результате тектонических напряжений, существовавших в толще осадочных отложений Припятского прогиба в геологическом прошлом. Перспективными в плане выявления новых месторождений углеводородов в Припятском прогибе являются его центральная и южная части. Основные объекты исследований – межсолевые девонские (нижнефаменские) отложения, достаточно хорошо изученные геофизическими методами и в меньшей степени – бурением. Имеющиеся геолого-геофизические данные о межсолевой толще позволили построить ряд структурных карт поверхности и подошвы этих отложений, а также некоторых горизонтов в ее пределах. На этих картах выделены антиклинальные структуры, которые при определенных условиях могут быть нефтеперспективными. Однако структурных построений зачастую недостаточно для того, чтобы сделать вывод о коллекторских свойствах пород, сложенных антиклинальными структурами.

Для выделения участков с повышенными коллекторскими свойствами за счет тектонических трещин, образованных в результате деформации межсолевой толщи на синрифтовом и пострифтовом этапах развития Припятского прогиба, нами был применен метод анализа количественной оценки абсолютной кривизны пласта. В качестве объекта исследований была выбрана подошва межсолевых отложений, т. е. ее современная конфигурация. Выбор этой поверхности не случаен. Именно подошва, а не кровля межсолевого комплекса представляет больший интерес, поскольку последняя была нередко размыта и разрушена, в частности на приразломных участках на этапе активного погружения осадочного палеобассейна в период накопления верхней (позднефаменской) соленосной толщи и последующего галокинеза. Оценка кривизны кровли межсолевых отложений также представляет определенный интерес для сравнения с аналогичным показателем по подошве. Возможность проведения в дальнейшем подобного сравнительного анализа позволит подтвердить выделенные нами зоны повышенной трещиноватости.

Кривизна поверхности имеет значение при анализе деформаций пластов горных пород. Она является количественной характеристикой, позволяющей оценить вероятность процессов разрушения пород в результате изгиба пласта.

Ранее нами были выполнены расчеты по определению абсолютной кривизны поверхности на плоскости, перпендикулярной гипсометрической поверхности, по направлению ее градиента [1]. Усовершенствованная нами методика позволила рассчитать значения абсолютной кривизны пласта в трехмерном пространстве.

В двухмерном измерении кривизна  $k$  линии / поверхности  $z$  исследуемого пласта была рассчитана по известной формуле:

$$k = \frac{d^2 z / dl^2}{(1 + (dz / dl)^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Формула (1) позволяла рассчитывать абсолютную кривизну поверхности в двухмерном пространстве. Величина знаменателя формулы играет важную роль при наклонном залегании поверхности исследуемого пласта. Обратная величина кривизны ( $k$ ) является радиусом кривизны в точке  $I$ . Значение толщины пласта, деленное на радиус кривизны, пропорционально напряжению линейного растяжения. Приведенные параметры являются количественными характеристиками, позволяющими оценить вероятность процессов разрушения пород в результате изгиба пласта. Конечно-разностный аналог при  $dz = \text{const}$  с учетом масштаба карты имеет вид:

$$K = \frac{2\Delta H(L_1 - L_2)(KM)^2}{L_1 L_2 (L_1 + L_2) [1 + \Delta H / (KM) \cdot (L_1 + L_2)]^{3/2}}, \quad (2)$$

где  $M$  – масштаб карты,  $K$  – коэффициент, учитывающий единицы измерения расстояния между изогипсами на карте,  $H$  – сечение изогипс,  $L_1$ ,  $L_2$  – расстояние между изогипсами, перпендикулярное их простираению соответственно между точками 1 и 2, 2 и 3 и т. д. Например, при измерении расстояния в сантиметрах  $K=1000$ .

Увеличение скорости и точности расчетов позволило решить более сложную задачу оценки кривизны в трехмерном (объемном) пространстве, учитывая деформации пласта не только по вертикали, но и по горизонтали (латерали), что сделало метод более точным и достоверным. Понятие кривизны поверхности по сравнению с кривизной линии имеет более сложное толкование в применении к трехмерному пространству.

Наибольший интерес из всех характеристик кривизны в нашем случае представляет главная максимальная кривизна. Основные величины кривизны поверхности в исследуемой точке находятся, согласно расчетам Б.А. Дубровина и др. [2], из отношения значений второй и первой квадратичной форм (трехмерный аналог уравнения (1)). Кривизна поверхности выступает здесь в качестве вектора, компонентами которого являются главные кривизны на касательной плоскости к исследуемой поверхности. Их значения определяются как корни квадратного уравнения (2).

$$k_{1,2} = (b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a, \quad (3)$$

где  $a = 1 + f_x^2 + f_y^2$ ;  $b = f_{xx}(1 + f_y^2) + f_{yy}(1 + f_x^2) - 2f_{xy}f_{xy}$ ;  $c = 2f_{xx}f_{yy}f_{xy}/a$ ;  $f_x$  – значение производной функции  $f$  по  $x$ .

Поскольку в нашем случае наибольший интерес представляет максимальное значение кривизны, можно им и ограничиться. Другие характеристики кривизны не рассматриваются.

Для выполнения расчетов согласно уравнению (2) и методике построения графических приложений предварительно были выполнены операции по оцифровке структурных карт, включавшие сканирование исходных карт и перевод изображений в цифровую форму в виде представления  $z = f(x, y)$  на равномерной сетке. Вычисления производных  $z$  выполнены методом конечно-разностной аппроксимации.

После оцифровки структурной карты массив данных был просчитан по формуле (3). В результате количественного расчета кривизны подошвы межсолевых отложений были построены карты, отображающие конкретные значения максимальной кривизны по соотношению зон искривления (флексурных зон) со смежными относительно выровненными участками моноклинального залегания этой поверхности (рис. 1). На следующем этапе формализации структурной карты в пределах блоков, ограниченных разрывными нарушениями, были выделены участки структурной поверхности со значениями максимальной кривизны  $1 \cdot 10^{-5}$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>-1</sup> и более. Максимальная кривизна поверхности в пределах самого тела разлома и в непосредственной близости от него игнорировалась.

В результате вычисления максимальной кривизны подошвы межселевых отложений и формализации структурной карты этой поверхности на фоне моноклиналиных участков, где кривизна равна или близка к нулю, вырисовались участки со значениями максимальной кривизны  $1 \cdot 10^{-5}$ ,  $3 \cdot 10^{-5}$ ,  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  и более.

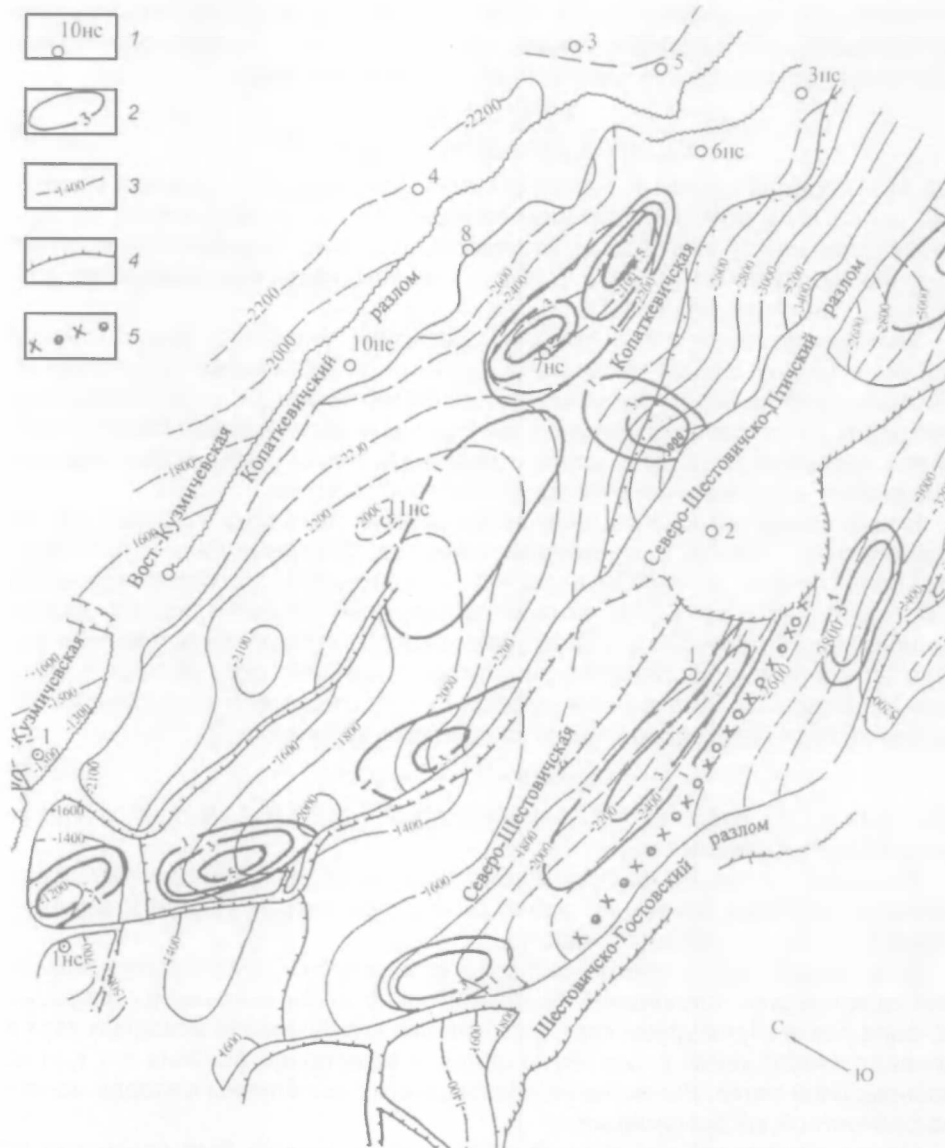


Рис. 1. Фрагмент структурной карты подошвы межселевых отложений центральной части Припятского прогиба с изолиниями абсолютной кривизны подошвы межселевых отложений. Условные обозначения: 1 – скважины; 2 – изолинии абсолютной кривизны подошвы межселевых отложений ( $n \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ ); 3 – изогипсы подошвы межселевых отложений (по данным Т.А. Пугон); 4 – разломы; 5 – зона разрывных нарушений, выделенная по данным палеогеодинамических исследований

Формализация структурной карты позволила выделить локальные разломы, выразившиеся в виде зон запредельной кривизны. Подобные локальные тектонические разрывные нарушения с трудом определяются по геофизическим данным, поскольку небольшая амплитуда смещения по этим разломам меньше степени точности интерпретации геофизических материалов.

На рис. 1 представлена карта распределения зон максимальной кривизны подошвы межселевых отложений в центральной части Припятского прогиба в пределах субширотного блока, ограниченного с севера локальным разломом, субпараллельным субрегиональному Северо-Шестовичско-Птичскому разлому, а с юга – Шестовичско-Гостовским субрегиональным разломом. В пределах названного блока расположены два нефтепоисковых объекта: Северо-Скрыгаловская структура на западе и Прудокская – на востоке. Пробуренная в месте наибольшего перегиба одного из склонов антиклинальной складки скв. 2 Северо-Скрыгаловская подтверждает наличие трещиноватых пород, слагающих межселевые отложения.

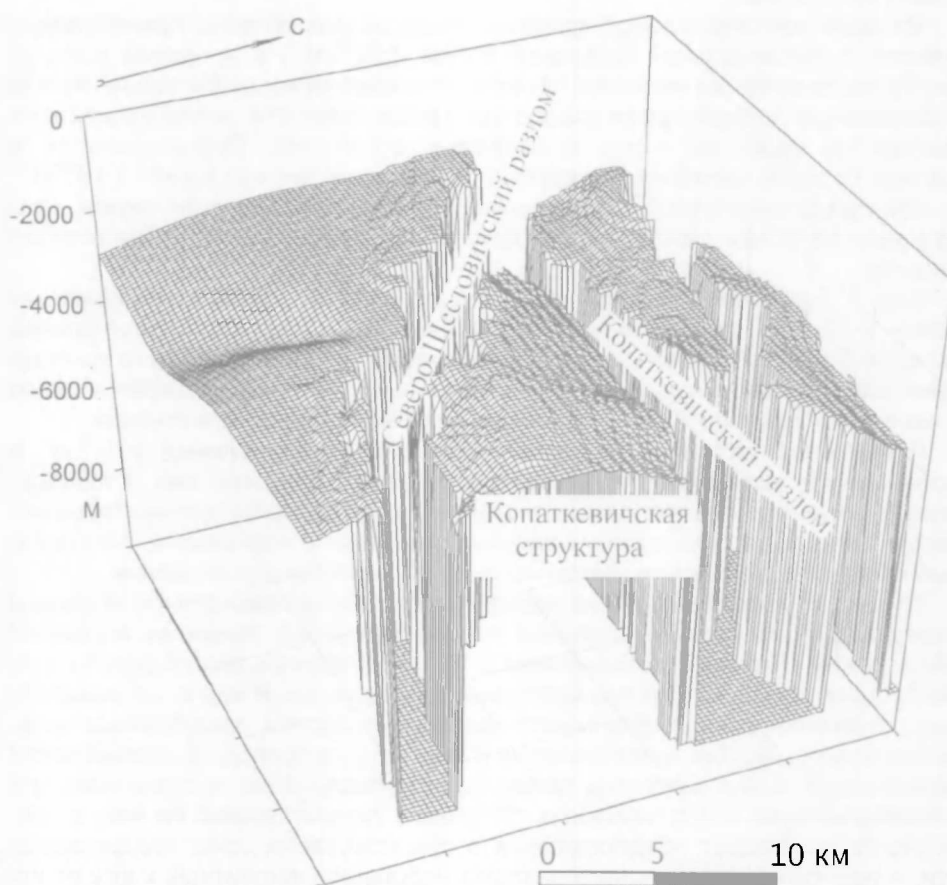


Рис. 2. Блок-диаграмма подошвы межселевых отложений в районе площадей Кузьмичевская, Копаткевичская, Северо-Шестовичская, Северо-Скрыгаловская

На рис. 2 изображена блок-диаграмма, демонстрирующая характер кривизны в трехмерном пространстве в районе площадей Кузьмичевская, Копаткевичская, Северо-Шестовичская, Северо-Скрыгаловская. К северу от Северо-Шестовичской площади в пределах крупного блока субширотного простирания, ограниченного с севера Копаткевичским, а с юга – Северо-Шестовичским разломами, расположены четыре участка повышенной кривизны исследуемых отложений. Они приурочены к приразломным частям блока в опущенном крыле Северо-Шестовичского разлома. В пределы одной из этих аномалий с кривизной  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  попадает скв. 7 Копаткевичская, в которой в межселевых отложениях установлены трещиноватые породы, подтверждающие правильность наших рекомендаций.

В восточной части Центрального перспективного нефтегазоносного района (ПНГР) также выявлены зоны повышенной трещиноватости, связанные с максимальным изгибом подошвы межсолевых отложений. Наибольшие из них по отметкам кривизны  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  и размерам расположены в пределах Смагловской площади. Эти аномалии приурочены к периклиналям антиклинальных складок.

Достаточно большой участок аномальной кривизны с максимальными значениями, превышающими  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ , представлен в пределах Дудичской площади. В эту аномалию пород повышенной трещиноватости попадает скв. 4 Дудичская, подтверждающая наличие трещиноватых пород в межсолевых отложениях.

Из всех зон аномальной кривизны наибольший интерес представляют участки с максимальной кривизной более  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ , в пределах которых наиболее вероятным является переход от пликтивных деформаций изгиба к разрывным деформациям в виде зон трещиноватости, улучшающих коллекторские свойства пород межсолевых отложений. Трещиноватость в хрупких породах (известняки, мергели) проявляется уже при изгибе  $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ , о чем свидетельствуют приведенные ниже данные изучения керна, отобранного из толщи межсолевых отложений центральной части Припятского прогиба.

Скв. 1 Туровская попадает в пределы аномалии повышенной кривизны более  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ , расположенной на замыкании Туровской антиклинальной складки. Вскрытые в этой скважине межсолевые отложения плотного кристаллического доломита нарушены многочисленными трещинами шириной около 1 мм с углом падения  $70-80^\circ$ , заполненными светло-серым известняком.

В пределах аномалии абсолютной кривизны со значениями  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  и более на периклинальных замыканиях складки пробурена скв. 1 Найдовская, в задонских межсолевых отложениях которой установлены трещиноватый ангидрит и доломитизированный известняк с трещинами, заполненными белым кальцитом, и многочисленными зеркалами скольжения.

Существование большей из названных аномалий повышенной кривизны межсолевых отложений и наличие трещиноватости в пределах аномалии абсолютной кривизны со значением  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  подтверждаются результатами бурения скв. 1 на Северо-Шестовичской площади. В керне из межсолевых отложений обнаружены многочисленные трещины, заполненные кальцитом и нарушающие известняковые и мергельные породы. В нижней части межсолевой толщи выявлены также зеркала скольжения по трещинам, что свидетельствует о вертикальных сбросовых перемещениях по ним и косвенно подтверждает предположение о существовании зоны трещиноватости, а возможно, и локального разлома небольшой амплитуды к югу от исследуемой скважины.

В пределах аномалий со значениями максимальной кривизны до  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  пробурены скв. 1, 6, 7 Каменные. В кернах скв. 1 Каменная, которая попадает в выделенный участок аномальной кривизны, в межсолевых задонских отложениях выявлены многочисленные тектонические трещины в известняках, алевролитах и аргиллитах шириной до 2 мм, открытые и заполненные глинистым материалом и кальцитом, а в верхней части интервала – солью. При раскалывании по трещинам пород задонских отложений ощущается слабый запах сероводорода, в подошве встречается битуминозный известняк, свидетельствующий о том, что эти отложения являлись ловушкой углеводородов.

Таким образом, проведенные исследования по оценке кривизны подошвы межсолевых отложений позволили выделить в центральной части Припятского прогиба участки с повышенными значениями абсолютной кривизны (более  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ ), которые имеют улучшенные коллекторские свойства за

счет тектонических трещин, выявление которых подтверждено исследованиями кернов скважин, пробуренных в пределах этих участков (Туровская 1, Найдовская 1, Северо-Шестовичская 1, Птичская 1, Каменская 1 и др.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Х03-220 «Рифейско-фанерозойская геодинамика территории Беларуси»).

1. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. М., 1979.

2. Москвич В.А., Ковхута А.М., Пархомов М.Д. // Минерально-сырьевая база Республики Беларусь: состояние и перспективы: Тез. докл. Мн., 1997. С. 188.

Поступила в редакцию 31.10.2003.

**Андрей Марленович Ковхута** – кандидат геолого-минералогических наук, ученый секретарь Института геологических наук НАН Беларуси.

**Михаил Демидович Пархомов** – старший научный сотрудник лаборатории геотермии Института геологических наук НАН Беларуси.

**Виктор Алексеевич Ткачев** – студент 5-го курса географического факультета БГУ.

**Анастасия Сергеевна Козлова** – студентка 5-го курса географического факультета БГУ.

УДК 556. 16 (476)

А.А. МАКАРЕВИЧ, А.М. САФРОНОВ

## ВЛИЯНИЕ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА СТОК р. ПРИПЯТЬ

In the article the influence of a drainage melioration on the river flow of Pripjat is estimated. Main regularities of the time distribution of river flow are described. Problems of the influence of anthropogenic factors on the river flow are also considered.

В связи с интенсивным преобразованием естественных ландшафтов в последнее время особенно остро стоит проблема оценки антропогенных изменений речного стока, формирование которого определяется совокупностью природных процессов и антропогенных воздействий в пределах всей территории речного бассейна.

При этом главное внимание уделяется выявлению и анализу влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на среднегодовой сток рек – основную гидрологическую характеристику, определяющую объемы ежегодно возобновляемых ресурсов поверхностных вод, наиболее интенсивно используемых в процессе деятельности человека.

Бассейн р. Припять относится к числу специфических, где явно преобладает и получил весьма широкое распространение один из видов хозяйственной деятельности – осушительная мелиорация. Длина реки 761 км, площадь бассейна 121 тыс. км<sup>2</sup>, в том числе в пределах Беларуси соответственно 500 км и 51,4 тыс. км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды в створе г. Мозырь составляет 384 м<sup>3</sup>/с, объем годового стока – более 12 км<sup>3</sup>. По состоянию на 2000 г. [1] в пределах белорусской части бассейна осушено 12 тыс. км<sup>2</sup> земель (более 23 % его территории). Спрявлению и углублению подверглись более 160 рек и ручьев на участках общей длиной 3,3 тыс. км, из них 85 – на всем протяжении (около 1,8 тыс. км). В той или иной степени преобразовано более 3 % всех естественных водотоков и 15 % их суммарной длины.

Кроме регулирования русел, при проведении осушительных работ проложена значительная сеть мелиоративных каналов. Крупных каналов (свыше 100 км) насчитывается более 1020 общей длиной около 10 тыс. км. Общая же протяженность открытой мелиоративной сети составляет около 55 тыс. км, что превышает естественную гидросеть более чем в 2 раза.