

П. С. Лапин¹✉, Л. Н. Константинов¹, С. А. Моисеев¹

О возможности применения неотектонического метода исследования для выявления зон АВПД в межсолевых кембрийских отложениях Ангаро-Ленской НГО на примере Ковыктинского месторождения

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Зоны аномально высокого пластового давления (АВПД) оказывают негативное влияние на разработку месторождений в пределах Ангаро-Ленской НГО. Для того чтобы избежать большого числа аварий необходимо осуществить районирование объекта исследования и выяснить причины этого явления. В настоящей работе мы рассмотрели одну из них: влияние глубинного эндогенного процесса на характер проявления АВПД. Эта задача решается с привлечением методов генетической морфологии и морфометрии. Анализируется одно из основных свойств рельефа – эрозионно-денудационное расчленение. Мы осуществили анализ с привлечением показателя общего эрозионно-денудационного расчленения рельефа, характеризующего глубинный эндогенный процесс. Оценили его пространственное положение и отметили, что для зоны АВПД характерны большие значения показателя. Полученные результаты позволили предположить, что активность глубинного эндогенного процесса, вероятно, может являться одной из причин формирования зоны АВПД. Вместе с тем, они могут быть использованы как эталон для изучения Ангаро-Ленской ступени или всей Восточной Сибири в целом. Предложенный метод исследования существенно дешевле проведения сейсмических работ по 3D и выделения зон АВПД непосредственно по пробуренным скважинам.

Ключевые слова: зоны аномально высокого пластового давления, новейшие движения, общий показатель эрозионно-денудационного расчленения рельефа

P. S. Lapin¹✉, Konstantinova L. N.¹, Moiseev S. A.¹

On the possibility of using the neotectonic research method to identify zones of abnormally high reservoir pressures in the inter-salt Cambrian deposits of the Angara-Lena oil and gas region on the example of the Kovyktinskoye field

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch
Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Abstract. Zones of abnormally high reservoir pressure (AWPDS) have a negative impact on the development of deposits within the Angara-Lena oil and gas region. In order to avoid a large number of accidents, it is necessary to carry out zoning of the research object and find out the causes of this phenomenon. In this paper, we have considered one of them: the influence of a deep endogenous process on the nature of the manifestation of zones of abnormally high reservoir pressures. This problem is solved using methods of genetic morphology and morphometry. One of the main properties of the relief is analyzed – erosion-denudation fragmentation. We carried out an analysis using an indicator

of the total erosion-denudation division of the relief, which characterizes the deep endogenous process. We assessed its spatial position and noted that the zones of abnormally high reservoir pressures zone is characterized by high values of the indicator. The obtained results suggested that the activity of a deep endogenous process may probably be one of the reasons for the formation of the zones of abnormally high reservoir pressures. At the same time, they can be used as a reference for studying the Angara-Lena stage or the entire Eastern Siberia as a whole. The proposed research method is significantly cheaper than conducting 3D seismic work and identifying zones of abnormally high reservoir pressures directly from drilled wells.

Keywords: zones of abnormally high reservoir pressure, recent movements, a general indicator of erosion-denudation dissection of the relief

Введение

До настоящего времени выявление свойств, раскрывающих влияние активизации глубокопогруженных геологических тел на рельеф земной поверхности, является актуальной задачей. Ещё М.А. Усов высказал предположение о том, что «сложный процесс формирования рельефа всегда связан с очень большим перемещением минеральных масс, как на поверхности Земли, так и в самих горизонтах литосферы и астеносферы» [1]. Развитие современного рельефа земной поверхности происходит под действием неотектонических движений. Существенный вклад в рамках антиклинальной теории развития рельефа Западной и Восточной Сибири внесли работы И.П. Варламова [2], который, исследуя влияние неотектонических движений на развитие и формирование рельефа, установил их соответствия структурам I и II порядков. По мере увеличения объёмов геофизических работ на наиболее изученной территории – Западной Сибири, а также детальности и качества структурных построений, И.П. Варламову и Э.Л. Якименко [3] удалось осуществить постановку задачи о связи основных структурных горизонтов, выявленных сейсмическими методами и абсолютными отметками современного рельефа. В результате проведенного корреляционного анализа они не смогли установить существенную зависимость между основными структурными поверхностями и рельефом земной поверхности. Возникла необходимость в поиске и выделении других свойств рельефа, привлечение которых позволило бы решить данную задачу. В связи с этим, в рамках методов генетической морфологии и морфометрии был разработан и применен метод, основанный на анализе глубинного эндогенного процесса, как одного из свойств рельефа и являющегося индикатором глубинной активизации геологических тел. Следует отметить, что методы геоморфологии и неотектоники являются составной частью комплексного подхода при поиске полезных ископаемых. Не является исключением и поиск углеводородного сырья. На начальной стадии поисков на региональном уровне эти методы применялись из-за своей дешевизны, но для решения прогнозных задач на локальном уровне требовался другой подход. Действительно, реликты донеогеновой поверхности выравнивания имеют плохую степень сохранности и не позволяют строить карты крупнее 1:1 500 000 масштаба. Требовалась разработка других методов анализа. В работе исследования проведены на основе анализа показателя общего эрозионно-денудационного расчленения ре-

льефа, который характеризует деятельность эрозионно-денудационных процессов в рамках модели формирования рельефа от одного этапа пенепленизации к другому.

Объект исследования

На региональном уровне, в пределах Ангаро-Ленской НГО объектом исследования являются кембрийские отложения (интервалы литвинцевской, ангарской, булайской, бельской, усольской свит). Установлено, что в кембрийских соленосных отложениях основными осложнениями при бурении скважин являются: поглощения промывочной жидкости различной интенсивности от полного до незначительного; газопроявления как слабой интенсивности, так и до фонтанных выбросов газа; водопроявления также имеют различную интенсивность и минерализацию от слабых рассолов до рапы; нефтепроявления в основном связаны с пропиткой нефтью трещин и каверн керна скважин; часто различные осложнения при бурении сопровождаются АВПД и АНПД; кавернообразование в соленосных отложениях.

Для скважин Ангаро-Ленской НГО наиболее распространенным осложнением является поглощение бурового раствора, вплоть до катастрофического. При бурении в надсолевом терригенно-карбонатном комплексе поглощения были зафиксированы практически во всех скважинах. С увеличением глубины бурения вероятность вскрытия зон поглощения уменьшается. Наиболее уязвимым из стратиграфических интервалов, с точки зрения геологических рисков, являются ангарская, усольская, бельская свиты, в которых отмечаются все три проявленных осложнения (рис. 1).

В пределах объекта исследования выполнено комплексное обобщение геолого-геофизической информации по материалам бурения (дела скважин, описание керна скважин, аналитические данные по петрофизическим свойствам, геохимическим определениям проб воды и газа и т. д.); по данным ГИС (каротажи для уточнения привязки интервалов осложнений при бурении к свитам и горизонтам), а также анализ опубликованной и фондовой литературы. Вся информация по геологическим осложнениям при бурении скважин Ангаро-Ленской НГО была оформлена в табличном варианте и разделена по свитам галогенно-карбонатного кембрия, что подтвердило наличие зон геологических осложнений при бурении скважин.

В процессе бурения в пределах Ковыктинского газоконденсатного месторождения (ГКМ) достаточно сложным для вскрытия остаются объекты с аномально высоким пластовым давлением (АВПД) [4] (см. рис. 1).

Водоносные горизонты проявляли себя, главным образом, поглощениями промывочной жидкости, которые зафиксированы практически по всему разрезу надсолевой и соленосной гидрогеологических формаций.

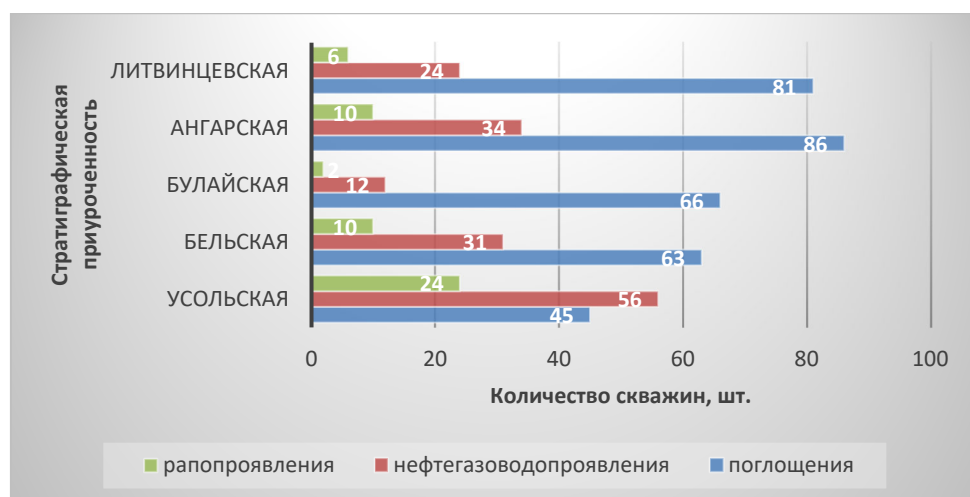


Рис. 1 Статистика геологических осложнений, зарегистрированных при бурении поисково-разведочных скважин в пределах контура Ангаро-Ленской НГО

В подсолевой формации эти эффекты отмечались значительно реже. Наряду с зонами поглощения, в разрезе соленосной формации зафиксированы зоны АВПД (рис. 2) с интенсивным газопроявлением, которые отмечены в юго-восточной части месторождения (скв. Гр-1), его центре (скв. Квт-3 и Квт-26), наиболее массово представлены на северо-востоке (скв. Квт-18, Квт-52, Квт-60, Квт-61 и Квт-64) [5].

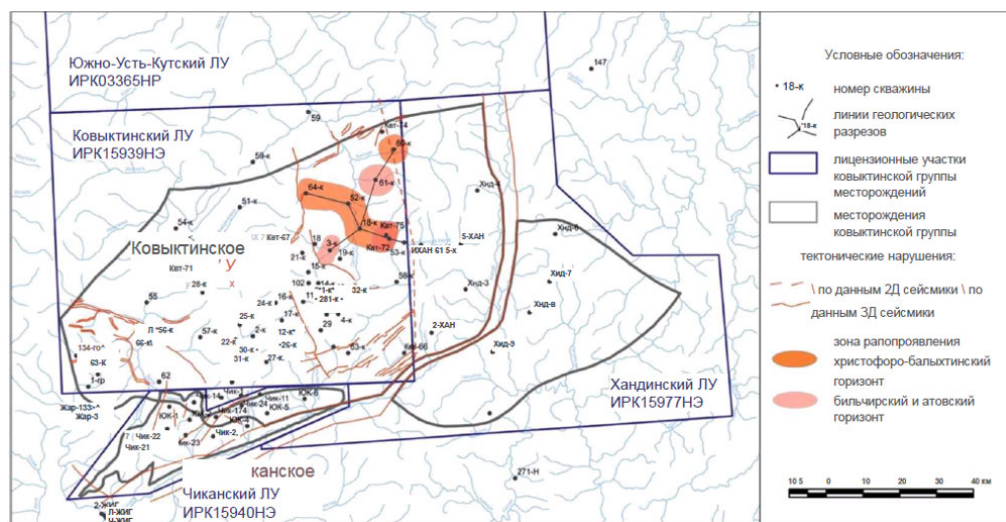


Рис. 2. Зоны газопроявления Ковыктинского месторождения [6]

Все вышеописанные свойства объекта исследования получены, в основном, непосредственно по материалам бурения. Бурение в данных зонах требует значительных денежных вложений. Выявление этих зон сейсмическими методами, в том числе и 3D, очень дороги, особенно в условиях Восточной Сибири. В ра-

боте рассмотрен вариант возможности выявления зон АВПД с привлечением геоморфологических и неотектонических методов оценки неоднородности земной коры [7, 8].

Метод и обсуждение результатов

Оценка проявления современного эндогенного процесса осуществлена через вычисление общего показателя эрозионно-денудационного расчленения рельефа [9, 10]. Показатели широко применяются как у нас в стране, так и за рубежом, отличия только в их названиях. Например, показатели густоты и глубины эрозионно-денудационного расчленения сопоставимы с показателями плотности стока [11] и рельефа бассейна [12]. Коэффициент разгрузки [13] соответствует показателю максимального угла наклона в рельефе (склона). Значения этого показателя отражают в рельефе результат взаимодействия эндогенных и экзогенных сил, учитывают в процессе развития рельефа хорошо известные в геоморфологии модели В. Пенка и У. Девиса.

Подробно методика описана ранее [14]. Ниже приведем её узловые моменты. Общий показатель эрозионно-денудационного расчленения вычислялся как произведение двух морфометрических показателей, которые традиционно используются в геоморфологии при описании форм рельефа [15], а именно показателей густоты и глубины эрозионно-денудационного рельефа. Показатель густоты рассчитывается как отношение длины всех временных и постоянных водотоков к площади морфотипа. Показатель глубины вреза гидросети рассчитывается как разность абсолютных отметок максимального значения в пределах водораздела к местному базису эрозии, отнесенная к площади морфотипа. В нашем случае морфотип – это комплексная характеристика локального представительного участка, в пределах которого присутствуют анализируемые морфометрические показатели. Представительный участок – это участок рельефа земной поверхности, в котором присутствуют элементы основной морфологической триады: «водораздел – склон – днище долины» [16].

Ранее [16] по разработанной методике была построена схема проявления эндогенной составляющей рельефообразующего процесса на основе вычисления показателя общего эрозионно-денудационного расчленения рельефа (рис. 3), что позволило на современном этапе развития земной коры сделать предположение о хорошей степени сохранности перспективных в нефтегазоносном отношении объектов. В настоящей работе с этой же целью осуществлено сопоставление схемы проявления глубинной эндогенной составляющей рельефообразующего процесса со скважинами с АВПД.

При районировании значения анализируемого параметра (рельефообразующий процесс, характеризующий современную глубинную эндогенную его составляющую) разделили на три группы: 1 – минимальные и близкие к ним; 2 – максимальные и близкие к ним; 3 – средние значения.

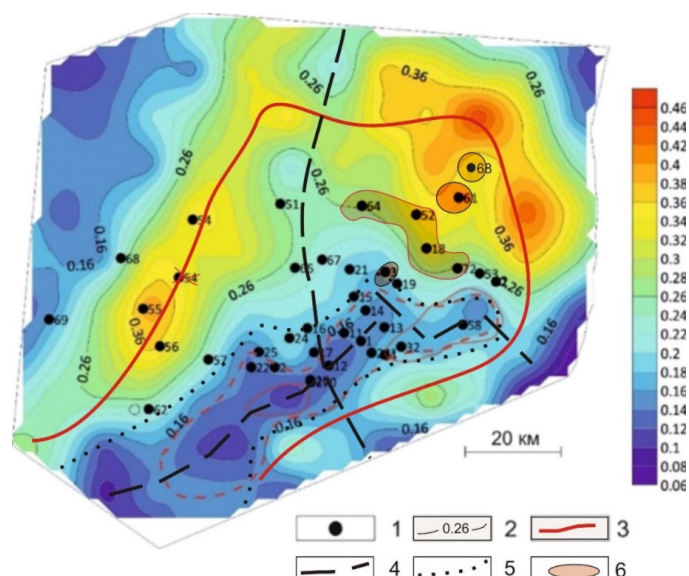


Рис. 3. Проявление минимальных и максимальных значений параметра в пределах Ковыктинского месторождения 1 – скважины; 2 – линии равных значений параметра; 3 – линия максимальных значений параметра; 4 – линия минимальных значений параметра; 5 – граница области с минимальными значениями параметра; 6 – области рапопроявления.

Установлено, что область минимальных значений приурочена к зоне пересечения двух, вероятно ранее активных разломов – северо-восточного и северо-западного направлений (рис. 3). На основе анализа распространения максимальных значений параметра выделили линию подковообразной формы. Она совпадает с частью разломов и является областью миграции углеводородов.

Проверка достоверности полученных данных осуществлена на основе сопоставления двух схем (рис. 2, 3). Восточная граница зоны максимальных значений совпадает с разломом, выявленным по сейсмическим данным 2D. Южная граница по данным сейсморазведки 3D представлена серией разрывных нарушений, которые по нашим данным незначительно активизированы. Полученную информацию можно рассмотреть с позиций существования в земной коре литодинамических потоков [17]. Согласно этим представлениям перемещение вещества и энергии происходит из области максимальных в область минимальных значений глубинного эндогенного процесса. В нашем случае – от периферии к центральной части.

По результатам проведенных исследований в северо-восточной части Ковыктинского ГКМ выявили блок, который с трех сторон ограничен линией максимальных значений параметра. Западная граница выделенной области совпадает с менее неактивным в настоящее время разломом (рис. 3). Выделенный блок внутри неоднороден, но этой неоднородности характерна определенная закономерность в распределении значений показателя. Их закономерная смена происходит с юго-запада на северо-восток, от минимальных к максимальным значениям. Таким образом, по вычисленным значениям показателя выделенный

блок можно разделить на три части: с минимальными, незначительными и максимальными значениями. Скважины с повышенным рапопроявлением приурочены к области с максимальными и близкими к ним значениями показателя (рис. 3). Можно предположить, что в пределах блока выделяется некая мембрана, которая предотвращает проникновение объектов с АВПД в юго-западном направлении. Для изучения выявленной неоднородности требуется проведение дальнейших детальных исследований.

Заключение

В областях с АВПД возникают сложности при выполнении буровых работ, что приводит к частым авариям и как следствие – резкому их удорожанию. Для исключения этого негативного влияния недостаточно только выделять области с АВПД, но и постараться выяснить причины их появления. Действительно, существуют методы гравиметрического, и сейсмического анализа, в том числе 3D, которые направлены на выявление этих областей. При этом, последние очень дороги. В настоящей работе с привлечением методов геоморфологии и неотектоники удалость не только выявить область с АВПД, но и предложить один из вариантов её формирования. С этой целью анализировался характер эрозионно-денудационного расчленения рельефа, определяющий развитие рельефа от одного этапа пенепленизации к другому под действием неотектонических движений.

Таким образом, анализ проявления современных эндогенного процесса, как фактор проявления тектонических движений позволил предложить один из вариантов локализации зоны АВПД в пределах Ковыктинского месторождения. Использовать полученную информацию как эталон и наметить пути дальнейшего исследования данного феномена.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований (ФНИ) №FWZZ-2022-0008.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усов М.А. Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений. - Томск: Западно-Сибирский геолого-гидро-геодезический трест (ЗСГПРТ), 1934. - 87 с.
2. Варламов И.П. Новейшая тектоника нефтегазоносных областей Сибири. В кн.: Новейшая тектоника Сибирской платформы и ее влияние на нефтегазоносность. М., 1985. – С. 3-1.
3. Варламов И.П., Якименко Э.Л. Результаты изучения корреляционных связей ряда структурных горизонтов центральной части Западно-Сибирской низменности// Структурно-геоморфологические исследования в Сибири и на Дальнем Востоке. – Новосибирск, 1975. – С. 14-18.
4. Шелихов, А.П. Анализ отражения в геопотенциальных полях зон осложнений при бурении скважин на Ковыктинском ГКМ / Шелихов А.П. и др. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 23 — 27 января 2017 г. – М: ИФЗ РАН, 2017. – С. 403-406
5. Аверкина Е.В. Анализ рапопроявлений в скважинах, пробуренных на территории Иркутского амфитеатра / Е. В. Аверкина // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2007. - № 4(30).

6. Михайлов Д.В., Добрынин Е.В. Использование пластовых промышленных вод и рассолов Ковыктинского месторождения в качестве гидротермального сырья. URL: https://pprog.ru/upload/best_pr_2021/%D0%98%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82/3%20%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2_%D0%94%D0%BE%D0%B1%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%B8%D0%BD_%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86.pdf
7. Рыжов А.Е., Поляков Е.Е., Горлов И.В. и др. Выделение новых перспективных объектов в отложениях солевого комплекса Ковыктинской зоны газонакопления и сопредельных территорий // Вести газовой науки. Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России. - 2017. - №3 (31). - С. 100-111.
8. Лапин П.С. Неравномерный характер проявления неотектонических движений земной коры как индикатор неоднородности нижнеангарской свиты Ковыктинского месторождения // Нефтегазовое дело – том 19 – № 6 – С. 6-12 – 2021
9. Филосовов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур: монография. - Саратов: Коммунист, 1960. - 95 с.
10. Уфимцев Г.Ф. Картографический анализ при изучении неотектоники горных стран // Геология и геофизика. - 1974. - № 2. - С. 79–85.
11. Horton R.E. "Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology". Geological Society of America Bulletin, 1945, 56 (3), 275-350, doi: 10.1130/0016-7606 (1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2.
12. Hadley R., Schumm S. Sediment Sources and Drainage Basin Characteristics in Upper Cheyenne River Basin. US Geological Survey Water-Supply Paper 1531-B, 1961, Washington DC.
13. Schumm S.A. The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth, Amboi, New Jersey. Geol. Soc. Ame. Bull., 1956, 67(5), p. 597- 646, doi: 10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2.
14. Лапин П.С., Красавчиков В.О. Морфометрические показатели при анализе направленности эрозионного расчленения рельефа // Геология и геофизика, 1990, 10, с. 105-114.
15. Волков Н.М. Принципы и методы картометрии / Акад. наук СССР. Ин-т географии. Москва, Ленинград: Изд-во и 2-я тип., 1950, 328 с.
16. Лапин П.С. Современные тектонические движения как предопределяющий фактор формирования и сохранности скоплений газа (на примере Ковыктинского месторождения) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь - "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVIII международной научной конференции (г. Новосибирск, 18-20 мая 2022 г.) – ИНГГ СО РАН – Новосибирск – том Т. 2 – № 1 – С. 145-152 – 2022.
17. Флоренсов Н.А. Геоморфологические формации // Проблемы эндогенного рельефообразования / Ред. Н.А. Флоренсов. М.: Наука, 1976. С. 399-419.

© П. С. Лапин, Л. Н. Константинова, С. А. Моисеев, 2025