

Е. В. Поспеева^{1✉}, М. В. Панарина²

Геоэлектрическое строение Ленской ветви Предверхоанского краевого прогиба по магнитотеллурическим данным

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Акционерное общество «ЕМ-РАЗВЕДКА», г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: pospееvaev@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Представлены результаты профильных магнитотеллурических исследований, выполненных в пределах северо-восточного окончания Вилуйской синеклизы. Показаны основные особенности геоэлектрического строения осадочного чехла, в котором выделяются девять геоэлектрических горизонтов. Для района исследования характерно широкое развитие дизъюнктивных нарушений, которые определяют специфику проницаемости осадочных толщ платформенного чехла. На глубинах 1000-2000 м в осадочных отложениях выделяется серия субвертикальных проводящих зон со значениями удельного электрического сопротивления 10 Ом·м. В плане они располагаются параллельно фазу надвигания структур Верхоянской складчатой области на мезозойский чехол платформы. Они могут быть проинтерпретированы как принадвиговые структурные ловушки.

Ключевые слова: магнитотеллурические исследования, Вилуйская синеклиза, геоэлектрические горизонты, удельное электрическое сопротивление, проводящие неоднородности

E. V. Pospееva^{1✉}, M. V. Panarina²

Goelectric structure of the Lena branch of the Predverkhoyan marginal trough according to magnetotelluric data

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

²Joint Stock Company "EM-EXPLORATION", Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: pospееvaev@ipgg.sbras.ru

Abstract. The results of profile magnetotelluric studies performed within the northeastern end of the Vilyui syncline are presented. The main features of the goelectric structure of the sedimentary cover, in which nine goelectric horizons are distinguished, are shown. The study area is characterized by widespread development of disjunctive faults, which determine the specificity of permeability of sedimentary strata of the platform cover. At depths of 1000-2000 m, a series of subvertical conductive zones with resistivity values of 10 Ohm-m are identified in sedimentary sediments. In plan they are located parallel to the thrusting phase of the Verkhoyansk folded region structures on the Mesozoic cover of the platform. They can be interpreted as anthropogenic structural traps.

Keywords: magnetotelluric research, Vilyui syncline, goelectric horizons, specific electrical resistivity, conductive inhomogeneities

Введение

Площадь исследований располагается в пределах Лено-Вилуйской нефтегазоносной провинции (НГП), расположенной в восточной части Сибирской

платформы (Западная Якутия). В тектоническом плане она приурочена к Вилюйской синеклизе и Предверхоанскому краевому прогибу (рис. 1).

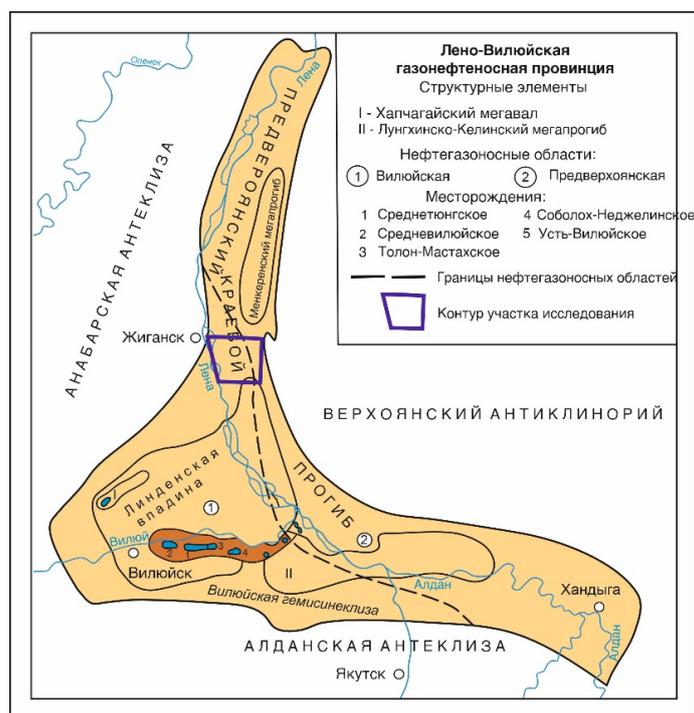


Рис.1. Структурная схема Лено-Вилюйской газонефтеносной провинции

По высокой концентрации углеводородных природных ресурсов Лено-Вилюйская НГП принадлежит к числу важнейших регионов России и включает Вилюйскую газоносную и Предверхоанскую перспективную нефтегазоносную области (НГО). Продуктивными являются верхнепермские, триасовые, юрские и меловые отложения. В пределах Вилюйской синеклизы промышленная газоносность установлена в верхнепермских, нижнетриасовых и нижнеюрских отложениях. Здесь выявлено шесть газоконденсатных месторождений, залежи которых приурочены к крупным положительным структурам – Логлорскому и Хапчагайскому мегавалам [3]. В настоящее время на территории Лено-Вилюйской НГП фонд положительных структур и пластовых сводовых залежей практически исчерпан, в связи с чем на передний план выступают исследования на обнаружение структурных принадвиговых ловушек [7], а также выявления областей с неглубоким залеганием нижнеюрских пород. В связи с этим особую актуальность приобретают геофизические исследования по изучению глубинного строения Лено-Вилюйской НГП, в общем комплексе которых, одно из ведущих мест занимают магнитотеллурические зондирования.

Методы и материалы

В качестве основного метода при изучении глубинного строения осадочного чехла Ленской ветви Предверхоанского краевого прогиба применялся метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ), основанный на изучении естествен-

ного переменного электромагнитного поля Земли (MT-поля). Работы выполнены в пределах Ундулюгской площади (Жиганский район) Республики Саха (Якутия) по серии широтных и субмеридиональных профилей (рис. 1). Полевые исследования выполнялись по стандартной методике [5] аппаратурой «MTU-5» канадской компании «Phoenix Geophysics», осуществляющей регистрацию пяти компонент магнитотеллурического поля в диапазоне периодов 0.003 – 1000 с. Шаг наблюдений по профилям составил 2,5 км, длительность записи не менее 19 ч. Для обработки полевых данных использовалось программное обеспечение «Phoenix Geophysics» - SSMT-2000 (Канада) и «MT-корректор» (Россия). Методика обработки подробно изложена в [6]. Тем не менее следует отметить, что основная особенность обработки полевых данных, полученных на Ундулюгской площади состояла в том, что операция приведения симметричного тензора к его главным осям проводилась от 1 до 3 раз. Это связано с тем, что характерной чертой Вилюйской синеклизы является несовпадение ее контуров и строения по нижним и верхним горизонтам осадочного чехла и поверхности кристаллического фундамента. Слагающие синеклизу мезозойские отложения залегают относительно полого, и по ним она представляется в виде обширной изометричной в плане впадины с простым строением. По поверхности фундамента, орогенному комплексу и нижним горизонтам осадочного чехла Вилюйская синеклиза имеет более сложное дифференцированное строение [4]. В ориентировке структурных элементов выделяют три основных направления: северо-восточное, северо-западное и широтное. Широтное направление имеют структуры первого порядка (в том числе Линденская впадина), северо-западную и северо-восточную ориентировку имеют структуры второго порядка. Кроме того, граница между Вилюйской синеклизой и Предверхооянским краевым прогибом довольно условна и проводится по смене простирания основных структурных элементов с субмеридионального на севере и субширотного на юге, характерных для Предверхооянского прогиба, на диагональное, свойственное Вилюйской синеклизе [9]. Поэтому для определения параметров геоэлектрического разреза (удельного электрического сопротивления и мощности) составлялись кривые кажущегося сопротивления продольные и поперечные к региональной структуре во всем диапазоне частот.

Результаты

В результате проведенных исследований получена новая информация о геоэлектрическом строении платформенного чехла Ленской ветви Предверхооянского краевого прогиба, сложенного верхнепалеозойскими и мезозойскими породами. Наиболее полно разрез осадочных отложений представлен на профилях 22 и 13, выполненных в широтном и субмеридиональном направлениях соответственно (рис.2).

Профиль 22. Здесь выделяется восемь геоэлектрических горизонтов: семь из них формируют отложения платформенного чехла, восьмой – породы фундамента (рис. 3А).

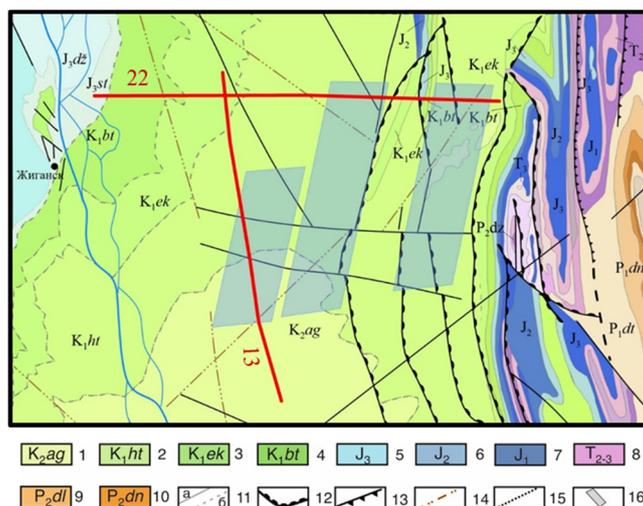


Рис.2. Выкопировка из Государственной геологической карты СССР. Масштаб 1:1 000 000. Листы Q-50-51.1 – отложения аграфеновской свиты верхнего мела; Отложения нижнего мела: 2 – хатырыкская свита, 3 – эксеняхская свита, 4 – батылыхская свита; Отложения юры: 5 – нерасчлененные верхней юры, 6 – нерасчлененные средней юры, 7 – нерасчлененные нижней юры; 8 – нерасчлененные отложения среднего-верхнего триаса; Пермские отложения: 9 – дулгалахский горизонт, 10 – деленжинский горизонт, 11 – тектонические контакты: а – достоверные, б – предполагаемые; 12 – разломы, ограничивающие надвиговые структуры; 13 – разломы с указанием направления падения поверхности сместителя; 14 – предполагаемые разломы, скрытые под более молодыми образованиями; 15 – границы между фациально разными образованиями одного и того же возраста; 16 – проводящие зоны.

Первый геоэлектрический горизонт приурочен к кайнозойским отложениям (KZ), представленным песками, суглинками, супесями и глинами с обломками выветрелых пород. Максимальная мощность составляет 200 м, а значения удельного электрического сопротивления (УЭС) изменяются от 50 Ом·м в западной до 20-25 Ом·м в центральных частях. В восточной части профиля современные отложения входят в состав второго и третьего геоэлектрических горизонтов. *Второй* геоэлектрический горизонт представлен отложениями хатырыкской свиты нижнего мела (K_{1ht}) и прослеживается только в центральной части профиля (рис. 3А). Свита сложена рыхлыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Мощность горизонта составляет около 150 м, а значения УЭС - 50-60 Ом·м. *Третий* геоэлектрический горизонт приурочен к угленосным нижнемеловым отложениям эксеняхской свиты (K_{1ek}), представленной песчаниками с прослоями аргиллитов и углей. Горизонт выдержан по мощности и значениями УЭС, которые составляют 350 м и 50-60 Ом·м соответственно. В западной части профиля, в районе пунктов 221-222 горизонт полностью выклинивается.

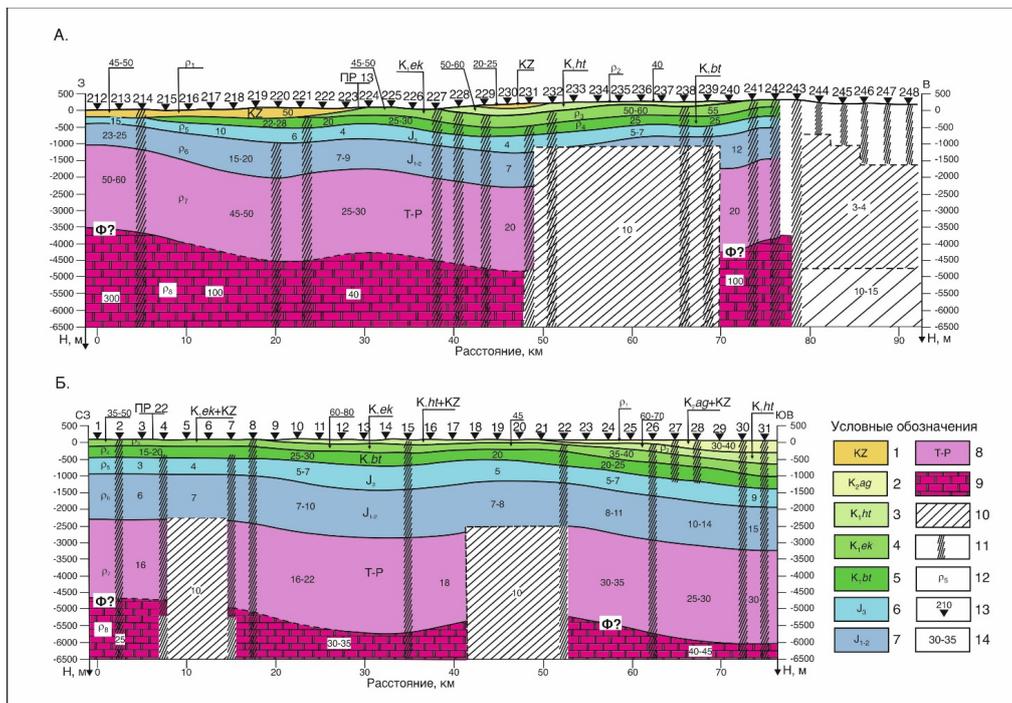


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы осадочного чехла: А – вдоль профиля 22, Б – вдоль профиля 13. 1 – современные кайнозойские осадки; 2 – отложения аграфеновской свиты верхнего мела; Отложения нижнего мела: 3 – хатырыкская свита, 4 – эксеняхская свита, 5 – батылыкская свита; 6 – отложения верхней юры; 7 – нерасчлененные отложения средней-нижней юры; 8 – объединенные отложения триаса и перми; 9 – породы фундамента; 10 – проводящие зоны; 11 – зоны дробления, выделенные по данным МТЗ; 12 – геоэлектрические горизонты, 13 – пункты зондирования; 14 – значения УЭС в Ом·м.

Четвертый геоэлектрический горизонт представлен песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углями батылыкской свиты нижнего мела (K_{1bt}). Горизонт выдержан как мощности, так и по значениям УЭС ($h \approx 400$ м, $\rho = 25-30$ Ом·м), а в районе п. 214 полностью выклинивается (рис. 3А). Пятый и шестой горизонты представлены отложениями юры (J_3, J_{1-2}). Пятый горизонт характеризуется самыми низкими значениями УЭС, которые уменьшаются в восточном направлении с 15 Ом·м до 4 Ом·м. В этом же направлении увеличивается мощность с 200 м до 400-500 м. Значения мощности и УЭС нерасчлененных отложений нижней-средней юры шестого геоэлектрического горизонта так же увеличиваются в восточном направлении (рис. 3А). Седьмой геоэлектрический горизонт представлен нерасчлененными отложениями триаса и перми (Т-Р), которые в основном сложены конгломератами, аргиллитами, туфами и песчаниками. Мощность горизонта около 2500 м, а значения УЭС уменьшаются в восточном направлении с 50-60 Ом·м до 20 Ом·м.

На глубине порядка 3500 м выделяется восьмой геоэлектрический горизонт, который представлен карбонатными отложениями, метаморфизованными слан-

цами и песчаниками раннего протерозоя. Его верхняя кромка, вероятно, является границей фундамента, что соответствует геологическим данным и данным глубокого бурения (рис. 4). Непосредственно информация о составе и возрасте фундамента Вилюйской синеклизы практически отсутствует. Единичные скважины, вскрывшие его в бортовых частях синеклизы в совокупности с характером распределения магнитных аномалий, позволили предположить, что до бортов Вилюйской синеклизы протягиваются архейские кристаллические образования. Они прослеживаются со стороны Анабарской антеклизы и Алданского щита (рис. 4). В пределах самой Лено-Вилюйской нефтегазоносной провинции и ее окрестностях, фундамент перекрыт неогейскими (рифейскими и позднепалеозойскими) образованиями залегает на различной, иногда довольно большой глубине [1]. В центральной части Вилюйской синеклизы предполагается наличие раннепротерозойской складчатой зоны [8]. Совокупность этих данных свидетельствует о резкой дифференциации рельефа фундамента (рис. 4).

Профиль 13 пересекает профиль 22 в районе пунктов 224-225 (рис. 3) и имеет несколько характерных отличий от геоэлектрических разрезов вдоль широтных профилей:

- в состав первого геоэлектрического горизонта входят отложения аграфеновской свиты верхнего мела (K_2ag), представленные песками, аргиллитами и галечниками (рис. 3Б);
- современные осадки (KZ) входят в состав второго и третьего геоэлектрических горизонтов, которые выклиниваются в северо-западном направлении;
- все геоэлектрические горизонты, включая восьмой плавно погружаются на юго-восток - в направлении Линденской впадины;
- кровля восьмого геоэлектрического горизонта картируется на глубине порядка 4500 м и погружается в юго-восточном направлении до 6000 м. В центральной части профиля (п.п. 18-22) отмечается подъем кровли всех восьми горизонтов.

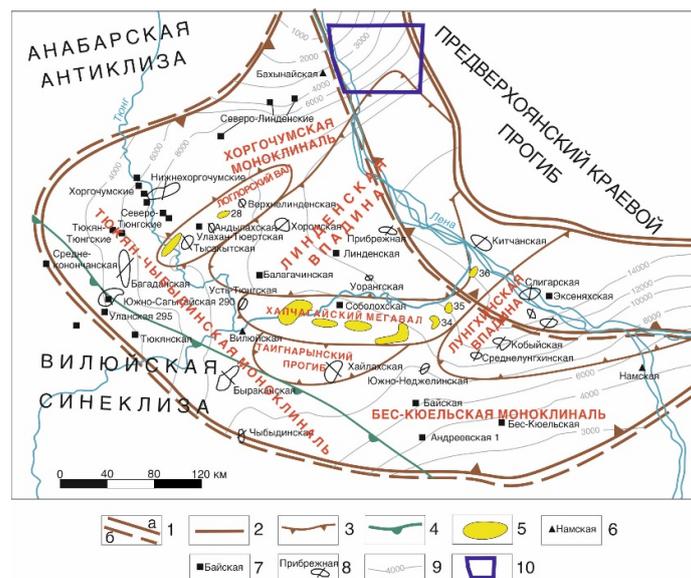


Рис. 4. Перспективные территории, связанные с вендским и венд-кембрийским перспективными нефтегазоносными комплексами [2].

Границы: 1 – нефтегазоносных провинций (а) и областей (б), 2 – важнейших надпорядковых структур (антеклиз, синеклиз, краевых прогибов, седловин), 3 – структур I и II порядка (сводов, выступов, мегавалов, впадин), 4 – Западно-Якутского барьерного рифа; 5 – месторождения газовой и газоконденсатные, 6 – опорные скважины и их название; 7 – параметрические и поисковые скважины и их название, 8 – площади, выведенные из бурения; 9 – изогипсы поверхности фундамента; 10 – контур участка работ.

На всех профилях, на глубинах порядка 1000-1220 м выделяется серия субвертикальных проводящих зон. В плане, они располагаются параллельно разломам, ограничивающим надвиговые структуры, и могут представлять собой принадвиговые структурные ловушки. Для района исследований так же характерно широкое развитие дизъюнктивных нарушений, которые по данным МТЗ представляют собой зоны дробления как с относительно повышенными, так и пониженными значениями УЭС.

Заключение

Результаты магнитотеллурических исследований позволили определить основные особенности геоэлектрического строения Ленской ветви Предверхоанского краевого прогиба.

1. В разрезе осадочного чехла изученной территории выделяются восемь обобщенных геоэлектрических горизонтов, приуроченных к отложениям мезозоя и верхнего палеозоя. Характер распределения значений УЭС показывает, что восьмой геоэлектрический горизонт, скорее всего представлен карбонатными и метаморфическими породами верхнего протерозоя, а его верхняя кромка, является кровлей фундамента. В центральной части площади отмечается подъем кровли всех восьми геоэлектрических горизонтов.

2. Для района исследования характерно широкое развитие разрывных нарушений, которые по данным МТЗ выделяются в виде зон дробления с относительно повышенными (или пониженными) значениями УЭС относительно вмещающих пород.

3. В районе исследований выделяется серия субвертикальных проводящих зон, которые в плане располагаются параллельно фасу надвигания структур Верхоянской складчатой области на мезозойский чехол платформы и могут представлять собой принадвиговые структурные ловушки.

Благодарности

Тезисы подготовлены в рамках Государственного задания ФНИ N FWZZ-2022-0024.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башарин А.К. Фрадкин Г.С. Лено-Виллюйский нефтегазоносный бассейн: строение и тектоническая эволюция // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 1. – С. 22-33.

2. Васильев С.А., Соболев П.Н., Таффарель Е.С. и др. Нефтегазоносность Вилюйской синеклизы и перспективы поисков залежей углеводородов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 12. – С. 14-26.
3. История нефтегазообразования и нефтегазонакопления на востоке Сибирской платформы. – М.: Наука, 1986. – 165 с.
4. Лено-Вилюйская нефтегазоносная провинция. – М.: Наука, 1969. – 284 с.
5. Новиков И.С., Поспеева Е.В. Неотектоника восточной части Горного Алтая по данным магнитотеллурического зондирования // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 7. – С. 959.
6. Поспеева Е.В. Лапин П.С. Санчаа А.М. Выявление ослабленных зон в земной коре юго-восточного окончания Западной Сибири вдоль профиля п. Пихтовка – п. Половинка // Геофизика. – 2023. – № 3. – С. 64-71.
7. Сафонов А.Ф., Горбачев В.Ф. Строение зоны сочленения Предверхоянского прогиба со складчатой областью // Геология нефти и газа. – 1991. – № 6. – С. 7-16.
8. Фрадкин Г.С., Болдырев М.В., Гайдук В.В. и др. Тектоническое положение и природа Вилюйской синеклизы // Геология и геофизика. – 1984. – В. 1. – Т. 25. – С. 38-50.
9. Фролов С.В., Корнюшина Е.Е., Коробова Н.И и др. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Вилюйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 5. – С. 13-30.

© Е. В. Поспеева, М. В. Панарина, 2025