

*Е. В. Поспеева<sup>1,2\*</sup>, М. В. Панарина<sup>3</sup>*

## **Геоэлектрическое строение осадочного чехла северо-восточной части Линденской впадины**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация

\*e-mail: [pospeevaev@ipgg.sbras.ru](mailto:pospeevaev@ipgg.sbras.ru)

<sup>2</sup> Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Акционерное общество «ЕМ-РАЗВЕДКА», г. Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** Представлены результаты магнитотеллурических исследований, выполненных по профилю, пересекающему северо-восточную часть Линденской впадины и Предверхоаянский краевой прогиб. Показаны основные различия в геоэлектрическом строении осадочного чехла этих структур. Осадочные отложения разделяются на шесть геоэлектрических горизонтов, которые постепенно выклиниваются в восточном направлении. В этом же направлении увеличиваются значения удельного электрического сопротивления. Как для Линденской впадины, так и Предверхоаянского краевого прогиба характерно широкое развитие дизъюнктивных нарушений, представленных зонами дробления как с повышенными, так и с пониженными значениями УЭС. Это объясняет природу проводимости области с низкими значениями УЭС, которая прослеживается в пределах всей Линденской впадины в низах шестого геоэлектрического горизонта. Проводящая область осложнена серией субвертикальных проводящих зон с более низкими значениями УЭС, которые в плане соответствуют направлению Западно-Верхоаянской системы разломов.

**Ключевые слова:** Линденская впадина, Предверхоаянский краевой прогиб, осадочный чехол, геоэлектрическое строение, удельное электрическое сопротивление

*Е. В. Pospeeva<sup>1,2\*</sup>, М. В. Panarina<sup>3</sup>*

## **Geoelectric structure of the sedimentary cover of the northeastern part of the Linden Depression**

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

\*e-mail: [pospeevaev@ipgg.sbras.ru](mailto:pospeevaev@ipgg.sbras.ru)

<sup>2</sup>Joint Stock Company "Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources", Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Joint Stock Company "EM-EXPLORATION", Novosibirsk, Russian Federation

**Abstract:** The results of magnetotelluric studies performed on the profile crossing the northeastern part of the Linden Depression and the Preverkhoyan marginal trough are presented. The main differences in the geoelectric structure of the sedimentary cover of these structures are shown. Sedimentary deposits are divided into six geoelectric horizons, which gradually wedge out in an easterly direction. In the same direction, the values of the electrical resistivity increase. Both the Linden Depression and the Pre-Verkhoyansk marginal trough are characterized by a wide development of disjunctive disor-

ders represented by crushing zones with both increased and decreased values of UES. This explains the nature of the conductivity of the region with low UES values, which can be traced throughout the Linden Basin at the bottom of the sixth geoelectric horizon. The conducting region is complicated by a series of subvertical conducting zones with lower values of UES, which correspond in plan to the direction of the West Verkhoyansk fault system.

**Keywords:** Linden depression, Pre-Verkhoyansk marginal trough, sedimentary cover, geoelectric structure, electrical resistivity

### *Введение*

Исследуемый профиль располагается на территории Лено-Виллюйской нефтегазоносной провинции, расположенной в восточной части Сибирской платформы вблизи ее границ с Верхояно-Чукотской складчатой областью. В тектоническом плане провинция приурочена к Виллюйской синеклизе Сибирской платформы и Предверхоанскому краевому прогибу (рис. 1). Граница между ними довольно условна. Она проводится по смене простирания основных структурных элементов с субмеридиональной на севере и субширотной на юге, характерных для Предверхоанского прогиба, на диагональную, свойственную Виллюйской синеклизе.



Рис. 1. Обзорная схема Лено-Виллюйского бассейна (основа – геологическая карта Сибирской платформы и прилегающий районов, 1: 1500000, Малич и др., 1979, ВСЕГЕИ). Серым цветом выделен исследуемый участок

*Предверхоянский краевой прогиб* представляет собой пограничную структуру между древней Сибирской платформой на западе и Верхоянским складчато-надвиговым поясом на востоке. В составе краевого прогиба выделяют южную субширотную Алданскую ветвь и северную субмеридиональную Ленскую ветвь [8], разделенные между собой Китчанским выступом Верхоянского складчатого пояса. Восточная граница краевого прогиба проводится по Западно-Верхоянской системе разломов, по которой образования складчатого пояса надвинуты в западном направлении. Поверхности срыва (детачмент), как правило, приурочены к глинам верхней перми и нижнего триаса. Глубины залегания фундамента в Предверхоянском прогибе значительно варьируют. Максимальные глубины до 14-15 км прогнозируются в центральном сегменте. В Ленской ветви, где пермские породы залегают непосредственно на кристаллическом фундаменте, мощность чехла, по видимости составляет около 6 км [8].

*Виллюйская синеклиза* в настоящее время рассматривается как одна из самых крупных и глубоких депрессий Сибирской платформы. На севере она граничит с Анабарской антеклизой, на северо-западе – с Сюгджерской седловиной, на западе – с Непско-Ботуобинской антеклизой, на юго-западе – с Предпатомским региональным прогибом, на юге – с Алданской антеклизой, на востоке сливается с Предверхоянским краевым прогибом (рис. 1). Для погруженной внутренней зоны синеклизы (Логлорский вал, Линденская впадина, Хапчагайский мегавал, Танганарынская и Лунгхинско-Келинская впадины) характерны значительные мощности верхнепалеозойских и мезозойских образований. В ее наиболее погруженных частях – зоне сопряжения с Предверхоянским краевым прогибом, общая мощность осадочного чехла достигает 14 км, сокращаясь по бортам до 3 км [4; 5]. Депоцентром Виллюйской синеклизы является Линденская впадина. Общая мощность ее осадочного чехла может достигать 1-12 км.

Зона сочленения Сибирской платформы с Ленской ветвью Предверхоянского краевого прогиба, в пределах которого находится площадь исследования, остается одной из наименее изученных территорий Западной Якутии. Представление о ее геологическом строении основывается главным образом на результатах геологической съемки 1960-1980-х годов, а также результатах грави- и магниторазведки масштабов 1:1 000 000 и 1:1 200 000. Плотность бурения и сейсморазведочных работ невысока. Также следует отметить, что ни одна из скважин не вскрыла кровли кристаллического фундамента. Многие особенности строения и геологического развития этого региона и тесно связанная с ними оценка перспектив его нефтегазоносности по-прежнему остаются предметом дискуссии. Согласно карте перспектив нефтегазоносности нижнеюрского нефтегазоносного комплекса Виллюйской синеклизы, северо-восточная часть Линденской впадины и зона ее сочленения с Предверхоянским прогибом располагается в районе с невыясненными перспективами [6] (рис. 2). При наличии в породах-коллекторах глинистых прослоев, способных удерживать углеводороды, возможна переоценка перспектив нефтегазоносности отложений в сторону ее повышения, что требует дополнительных исследований. В связи с этим особую актуальность приобретают комплексные геофизические исследования по изучению глубин-

ного строения зоны сочленения Вилюйской синеклизы Сибирской платформы с Предверхоянским прогибом. Одно из важных мест в этом комплексе занимают электромагнитные исследования с естественным (МТЗ) и искусственным источником (ЗС), обладающие достаточно большим набором информативных характеристик.

### Методы и материалы

Для построения геоэлектрического разреза осадочного чехла по данным магнитотеллурических исследований (МТЗ) использовались полевые материалы, полученные в 2022 году на Восточно-Линденском участке (Жиганский район) Республики Саха (Якутия). Работы МТЗ выполнялись на основе технологий V5 System – 2000 аппаратурой «MTU-5» компании «Phoenix Geophysics» (Канада) по стандартной методике. Обработка четырехкомпонентных записей магнитотеллурического поля (мт-поля) осуществлялась в программе SSMT-2000, реализующей современные алгоритмы спектрального анализа в режимах одиночных ("local", SS) и при необходимости синхронных зондирований с удаленной базой ("remote reference", RR).

Главной особенностью обработки полученных данных была операция приведения симметричного тензора к его главным осям [2]. Еще одной важной методической задачей, определяющей степень достоверности мт-исследований, является выявление искажений кривых зондирования, связанных с латеральной неоднородностью разреза. В качестве критерия «неискаженности» применялись кривые становления поля (ЗС), которые практически не подвержены факторам, искажающим электрическое поле, так как в этом методе измеряется дифференцированная по времени магнитная составляющая электромагнитного поля. Поэтому за «нормальный» уровень принимается уровень кривой ЗСБ, а кривая МТЗ смещается к нему вдоль оси сопротивления. Кривые совмещаются по уровню кажущегося сопротивления и параметрам S и H, которые должны быть едины для области перекрытия (рис. 3).

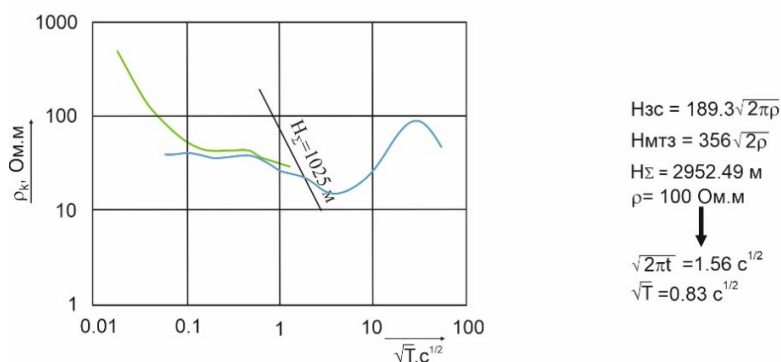


Рис. 3. Совмещение кривых УЭС по параметру H: голубая – кривая МТЗ, зеленая – кривая ЗС

## Результаты

По особенностям распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) геоэлектрический разрез изученного профиля разделяется на две части: западную, соответствующую Линденской впадине и восточную, соответствующую Предверхолянскому краевому прогибу (рис. 4).

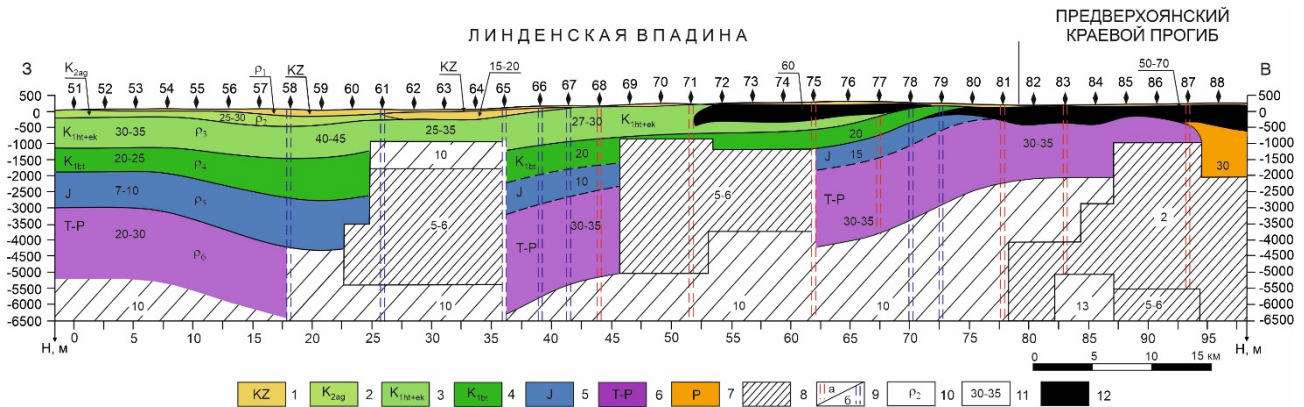


Рис. 4. Геоэлектрический разрез осадочного чехла северо-восточной части Линденской впадины. 1 – современные отложения; 2 – верхнемеловые отложения аграфеновской свиты; 3 – объединенные отложения хатырыкской и эксеняхской свит нижнего мела; 4 – нижнемеловые отложения батылыкской свиты; 5 – объединенные юрские отложения; 6 – объединенные отложения триаса и перми; 7 – объединенные пермские отложения; 8 – области с пониженными значениями УЭС; 9 – зоны дробления, выявленные о данным МТЗ: а – с повышенными значения УЭС, б – с пониженными значения УЭС; 10 – геоэлектрические горизонты; 11 – значения УЭС в Ом·м; 12 – предполагаемая зона реликтовой мерзлоты

Платформенный чехол, сложенный верхнепалеозойскими и мезозойскими породами, подразделяется на шесть геоэлектрических горизонта:

$$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5 < \rho_6.$$

*Первый* геоэлектрический горизонт развит в восточной части профиля и выклинивается в западном направлении в районе пункта 60. Горизонт приурочен к современным отложениями кайнозоя (KZ), представленными песками, суглинками, супесями и глинами с обломками выветрелых пород. Максимальная мощность горизонта составляет 180-200 м, сопротивление изменяется от 10 до 20 Ом·м. *Второй* геоэлектрический горизонт представлен нерасчлененными отложениями аграфеновской свиты верхнего мела (K2ag), сложенной песками, песчаниками, прослоями глин и аргиллитов. Мощность горизонта изменяется от 200 м в западной части профиля (п.п. 51-54) до 300 м в центральной части (п.п. 57-59) и полностью выклинивается на востоке (п.п. 61-62). Среднее значение удельного

электрического сопротивления (УЭС) составляет 25-30 Ом·м. Третий геоэлектрический горизонт включает объединенные отложения хатырыкской и ексеняхской свит нижнего мела ( $K_{1ht}+K_{1ek}$ ). Породы представлены песчаниками, песками, алевролитами, линзами конгломератов и углей. Горизонт выдержан по мощности и значениям УЭС которые составляют 1000 м и 30-45 Ом·м соответственно. В районе пунктов 78-79 горизонт полностью выклинивается. Четвертый геоэлектрический горизонт приурочен к отложениям батылхской свиты нижнего мела ( $K_{1bt}$ ), представленной песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углями. Среднее сопротивление слоя составляет 20-25 Ом·м, мощность изменяется от 750 (п.п. 51-54) до 1400 м (п.п. 57-59) и в районе пункта 80 горизонт полностью выклинивается (рис. 4). Пятый геоэлектрический горизонт включает объединенные отложения юры (J), представленные песчаниками, конгломератами, алевролитами, аргиллитами и глинами. УЭС в западной части профиля составляет 7-10 Ом·м и увеличивается в западном направлении до 15 Ом·м. В этом же направлении уменьшается мощность с 1000-1500 м до 750 м и полного выклинивания в районе п.п. 81-82. Шестой геоэлектрический горизонт приурочен к объединенным отложениям триаса и перми (Т-Р). В восточной части профиля отложения триаса выклиниваются и в составе геоэлектрического горизонта остаются только нерасчлененные отложения перми. Породы основном представлены аргиллитами, конгломератами, песчаниками и туфами. В западной части профиля УЭС составляет 20-30 Ом·м, в восточной увеличивается до 35 Ом·м. В нижней части шестого горизонта выделяется мощная латеральная неоднородность с пониженными значениями УЭС (10 Ом·м), осложненная серией субвертикальных проводящих зон с более низкими значениями УЭС (2-6 Ом·м) (рис. 4).

В восточной части профиля в районе пунктов 80-81 выделяется область со значениями УЭС, значительно превышающими значения УЭС, характерные для пород пятого и шестого геоэлектрических горизонтов. Предположительно, эта зона может соответствовать участку реликтовой вечной мерзлоты, сохранившейся ниже зоны постоянных температур от прежней геологической эпохи, когда здесь существовали благоприятные для нее климатические условия. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что обычно слои реликтовой мерзлоты обнаруживаются на глубинах 100-200 м там, где с поверхности мерзлота отсутствует. Распространяются они до глубин 350-400 метров, а температура составляет около  $0^{\circ}$ , что объясняет относительно низкие значения УЭС, относительно характерных для вечномерзлых пород.

Для осадочного чехла северо-восточной части Линденской впадины характерно широкое развитие дизъюнктивных нарушений, представленных зонами дробления как с повышенными, так и с пониженными значениями УЭС. Они определяют специфику проницаемости осадочных толщ чехла, а наличие галогенных и гипсоносных формаций обуславливает значительное разнообразие химического состава и степени минерализации подземных вод – от пресных до рассолов.

Виллойская синеклиза и Предверхоаянский краевой прогиб относятся к Лено-Виллойскому артезианскому бассейну, основные гидрогеологические особенно-



сти которого определяет мощная – до нескольких тысяч метров мезозойская терригенная водоносная формация, ниже которой залегают галогенные и терригенно-карбонатные водоносные комплексы палеозоя. Так, согласно [7] соленосная толща среднедевонского возраста, вскрытая скважинами на западном борту Линденской впадины, прослеживается на всей ее территории и на востоке погружается под складчатые структуры Верхоянья. Это объясняет природу проводимости области с низкими значениями УЭС, которая прослеживается в пределах всей Линденской впадины в низах шестого геоэлектрического горизонта (рис. 4). Проводящая область осложнена серией субвертикальных проводящих зон с более низкими значениями УЭС, которые в плане соответствуют направлению Западно-Верхоянской системы разломов (рис. 5).

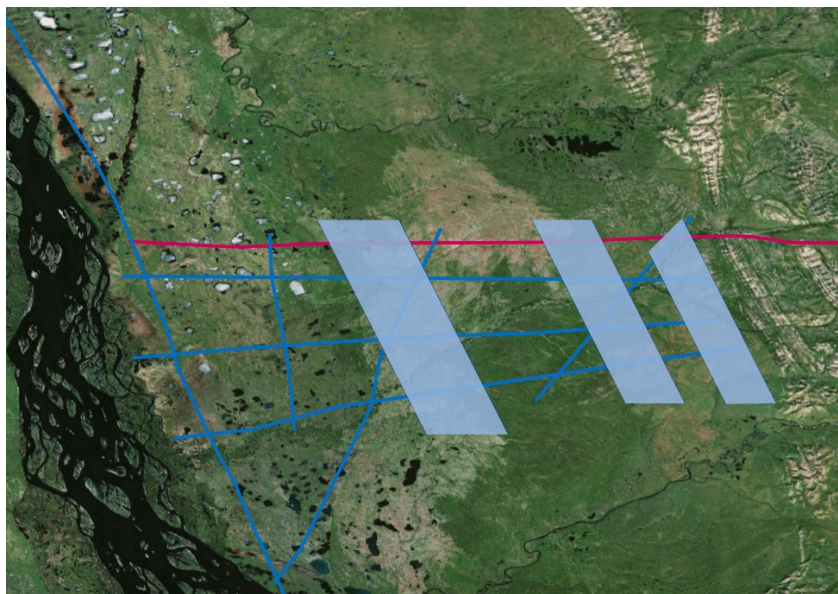


Рис. 5. Субвертикальные проводящие зоны на карте рельефа. Красным цветом выделен исследуемый профиль

### *Заключение*

Результаты магнитотеллурических исследований позволили определить основные особенности геоэлектрического строения северо-восточной части Линденской впадины и Предверхоянского краевого прогиба. Осадочные отложения разделяются на шесть геоэлектрических горизонта, которые постепенно выклиниваются в восточном направлении. В этом же направлении увеличиваются значения удельного электрического сопротивления. Как для Линденской впадины, так и Предверхоянского краевого прогиба характерно широкое развитие дизъюнктивных нарушений, представленных зонами дробления как с повышенными, так и с пониженными значениями УЭС. Это объясняет природу проводимости области с низкими значениями УЭС, которая прослеживается в пределах всей Линденской впадины в низах шестого геоэлектрического горизонта. Проводящая область осложнена серией субвертикальных проводящих зон с более низкими значениями УЭС, которые в плане соответствуют направлению Западно-Верхоянской системы разломов.

## *Благодарности*

Работа выполнена по Государственному заданию ФГБУ «ВНИГНИ» № 049-00014-22-01

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бердичевский М. Н., Ваньян Л. Л., Егоров И. В., Лебедева Н. А., Пальшин Н. А., Яковлев А. Г. Анализ разрешающей способности электромагнитных зондирований // *Физика Земли*, 1992. - №1. – С. 119 – 128.
2. Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2008. – 679 с.
3. Жданов М. С., Спичак В. В. Математическое моделирование электромагнитных полей в трехмерно-неоднородных средах. М.: Наука, 1992. – 188 с.
4. Микуленко К. И. Тектоника осадочного чехла краевых депрессий Сибирской платформы (в связи с нефтегазоносностью) // *Геология и нефтегазоносность мезозойских седиментационных бассейнов Сибири*, 1983. Новосибирск: Наука. – С. 90 – 104.
5. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Лено-Виллюйский бассейн. Новосибирск: СО РАН, 1994. – 107 с.
6. Федорович М. О., Космачева А. Ю. Прогноз нефтегазоносности Виллюйской гемисинеклизы на базе интерпретации геолого-геофизических материалов и технологии бассейнового моделирования (Республика Саха (Якутия)) // *Георесурсы/GEORESURSY*, 2003. – Т. 25. - №1. – С. 81 – 94.
7. Фрадкин Г. С., Болдырев М. В., Гайдук В. В., Микуленко К. И., Парфенов Л. М. Тектоническое положение и природа Виллюйской синеклизы // *Геология и геофизика*, 1984. -№1. – С. 38 – 49.
8. Фролов С. В., Корнюшина Е. Е., Коробова Н. И., Бакай Е. А., Курдина Н. С., Крылов О. В., Тарасенко А. А. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Тунгусского нефтегазоносного бассейна // *Георесурсы/GEORESURSY*, 2019. – Т. 21. - №2. – С. 13 – 30.

© *Е. В. Поспеева, М. В. Панарина, 2024*