

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ (ОБОСНОВАНИЕ ПОВТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ)**

### ***Владимир Андреевич Гурьев***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, лаборант, тел. (913)469-77-10, e-mail: v.gurev@g.nsu.ru

### ***Владимир Сергеевич Могилатов***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, главный научный сотрудник, тел. (913)912-43-36, e-mail: mvecs@ya.ru

### ***Владимир Владимирович Потанов***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (913)941-35-56, e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

Данная работа посвящена выявлению влияния эффекта Холла в геологической среде на данные электроразведочных методов на примере зондирования становлением поля в ближней зоне. Здесь кратко отражены результаты предшествующих теоретических изысканий, а также результаты летних полевых работ 2018 года и рекомендации авторов по проведению дальнейших полевых исследований, запланированных на летний период 2019 года. Большое внимание уделено аспектам проведения полевого эксперимента, а также условиям его корректности. Приведена оценка холловской проводимости на основе уже имеющихся результатов.

**Ключевые слова:** электроразведка, зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), эффект Холла, холловская проводимость.

## **THE HALL EFFECT DETECTION STUDIES IN THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT (THE RATIONALE OF REPEATED EXPERIMENTS)**

### ***Vladimir A. Gurev***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Laboratory Assistance, phone: (913)469-77-10, e-mail: v.gurev@g.nsu.ru

### ***Vladimir S. Mogilatov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, phone: (913)912-43-36, e-mail: mvecs@ya.ru

### ***Vladimir V. Potapov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (913)941-35-56, e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

This work is devoted to identifying the influence of the Hall effect in the geological environment on the electrical exploration methods data on the example of controlled source transient electromagnetic (TEM) method. It summarizes the results of previous theoretical studies, as well as the

results of the summer field work in 2018 and the authors' recommendations for further field studies planned for the summer of 2019. Much attention is paid to the aspects of the field experiment, as well as the conditions of its correctness. The estimation of the Hall conductivity on the basis of already available results is given.

**Key words:** electrical exploration, controlled transient electromagnetic source (TEM) method, magnetotelluric sounding (MTS) method, Hall effect, Hall conductivity.

Эффект Холла был открыт Эдвином Гербертом Холлом в 1879 году в тонких пластинках золота [19]. Эффект состоит в возникновении на боковых гранях проводника с током, помещенного в поперечное магнитное поле, разности потенциалов  $\Delta\phi$  – холловского напряжения  $U_H$ , пропорционального величине продольного тока  $I$  и вектору индукции магнитного поля  $B$  [20]. Данный эффект возникает вследствие воздействия силы Лоренца ( $F_L$ ) на заряды в этом проводнике [17].

Нельзя отрицать, что, в принципе, эффект Холла способен проявляться в геологических средах и воздействовать на измерения методами электроразведки (рис. 1) [2, 4, 6-11]. В данном случае проблема исследований и состоит в установлении реального проявления эффекта Холла в геоэлектромагнитных зондированиях и его влиянии на их результаты.

Первоначальный анализ показывает, что эффект Холла может очень слабо проявляться в эффективной анизотропии проводимости горных пород. Кроме того, в результате тенденции к криволинейной траектории носителей тока под влиянием силы Лоренца возникает эффективная намагниченность геологической среды, зависящая от состояния геологической среды на микроуровне [4].



Рис. 1. Появление холловской напряженности  $E_H$  электрического поля

В период 8-15 июля 2018 года сотрудниками Лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН проводились полевые исследования в рамках гранта РФФИ №17-05-00083\_а. Целью данных работ было обнаружение эффекта Холла в геологических средах. Исследования были выполнены методами ЗСБ и МТЗ, которые были выбраны в связи с методической эффективностью и относительной простотой выполнения работ [4].

Задачи полевых исследований:

1. Измерение методом МТЗ длительных сигналов в одной точке;
2. Измерение соосной петлей сигнала ЗСБ для определения одномерного разреза в точке исследований;
3. Измерение четырех радиальных линий MN от петли методом ЗСБ;
4. Измерение компоненты Eφ от петли для оценки слоистости среды и контроля электрических измерений.

Таким образом, предлагается следующая экспериментальная схема (рис. 2). На выбранном участке с ровной поверхностью и горизонтально-слоистым разрезом (насколько это известно) располагается источник – токовая петля квадратной формы с импульсным возбуждением. Процесс становления регистрируется четырьмя радиальными приемными линиями, каждая из которых перпендикулярна одной из соответствующих сторон генераторной петли. Установка должна быть большой, как для структурных исследований, для увеличения уровня сигнала, связанного с эффектом Холла. Желательно также перемещать и поворачивать всю расстановку и повторять измерения для того, чтобы удостовериться в получаемых результатах. Поскольку в данных исследованиях все зависит от величины холловской проводимости  $\sigma_H$ , то, прежде всего, нужно выявить одинаковую компоненту сигнала во всех четырех измерениях, если она не проявится явно [10].

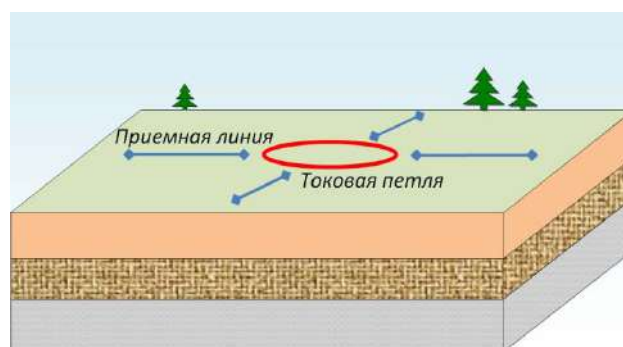


Рис. 2. Схема определения холловской проводимости в ЗС

На основе работы с архивными данными и имеющейся априорной информации был выбран участок проведения полевых работ в Татарском районе Новосибирской области в 5 км от поселка Орловка (рис. 3). Данный участок характеризуется спокойным рельефом (изменение высот 1 м на каждые 60 км) и низкой структурно-геологической поверхностью, так как целиком расположен в пределах Западно-Сибирской низменности [1], также он хорошо изучен с геологической точки зрения – есть множество отчетов геологических и геофизических экспедиций [16, 18], подтвержденных результатами бурения скважин [3]. Во всех вышеупомянутых отчетах установлен горизонтально-слоистый характер геологического строения среды, что позволяет проводить полевые измерения без вероятного влияния каких-либо локальных неоднородностей геоло-

гической среды, а удаленность участка работ от населенных пунктов и объектов инфраструктуры позволяет исключить влияние каких-либо наводок и шумов техногенного происхождения, которые могли бы существенно повлиять на результаты полевых экспериментов.



Рис. 3. Административная карта Новосибирской области, где область проведения работ выделена красной окружностью [15]

Перейдем непосредственно к результатам полевых измерений, для которых на рис. 4 представлена схема расположения на местности.

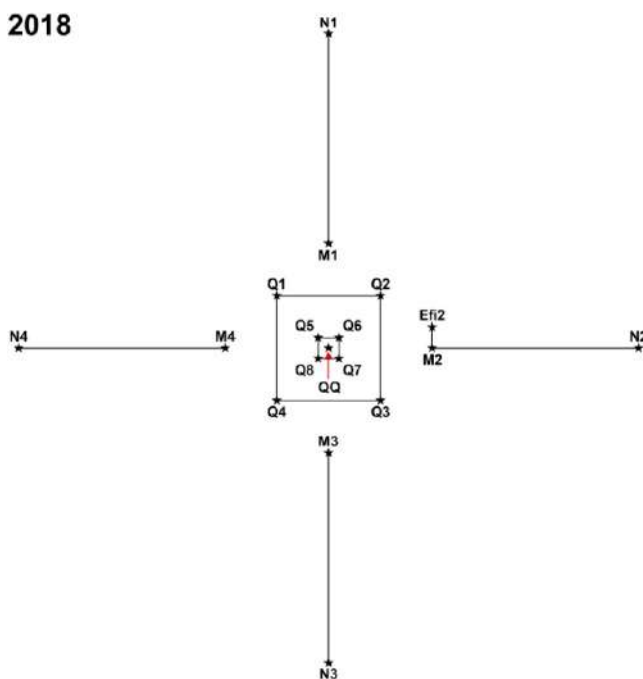


Рис. 4. Схема летних полевых измерений методами ЗСБ и МТЗ 2018 года

По результатам обработки данных МТЗ было установлено отсутствие отклонений в строении участка работ от модели горизонтально-слоистой среды.

Теоретически рассчитанный сигнал ЗСБ при выбранной  $\sigma_H = 0,002$  См/м вполне соответствует полевым кривым (рис. 5), полученным во время измерений на четырех радиальных линиях MN. Таким образом, мы определили холловскую проводимость. На наш взгляд, мы положительным образом решили вопрос о проявлении эффекта Холла в электроразведке. Мы отчётливо понимаем, что все полученные нами во время полевого сезона 2018 года результаты по изучению эффекта Холла нуждаются в подтверждении при дальнейших полевых исследованиях, поскольку холловский сигнал слаб, а измерения пока получились не самого лучшего возможного качества.

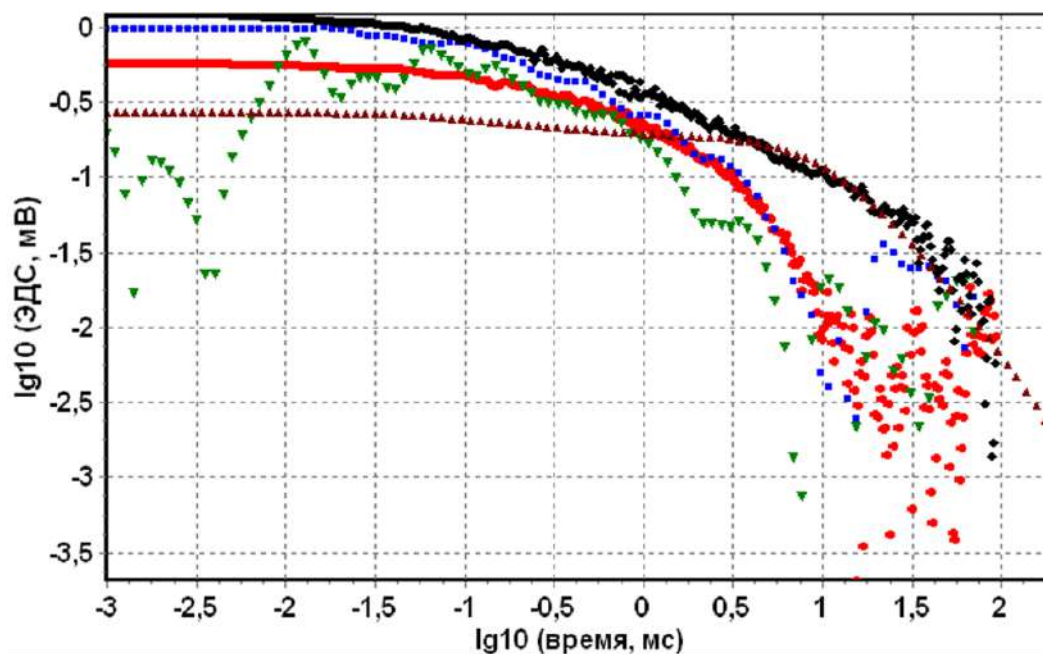


Рис. 5. Сравнение полевых сигналов после предварительной обработки с теоретическим для  $\sigma_H = 0,002$  См/м, полевая кривая измерительной линии M1N1 – красная, M2N2 – синяя, M3N3 – зеленая и M4N4 – черная; теоретическая кривая – коричневая

По результатам полевых измерений 2018 года по исследованию эффекта Холла в геологической среде, схема которых представлена на рис. 4, было установлено сильное влияние погодных условий на результаты измерений методом ЗСБ. Поэтому аналогичные измерения, планируемые в 2019 году (схема представлена на рис. 6), планируется провести в течение более продолжительного промежутка времени для записи сигналов ЗСБ при благоприятных условиях, также планируется полностью повторить исследования 2018 года и дополнить их для более детального и основательного исследования вклада эффекта Холла при геоэлектромагнитных зондированиях и повторного установления геологического строения среды на участке работ.

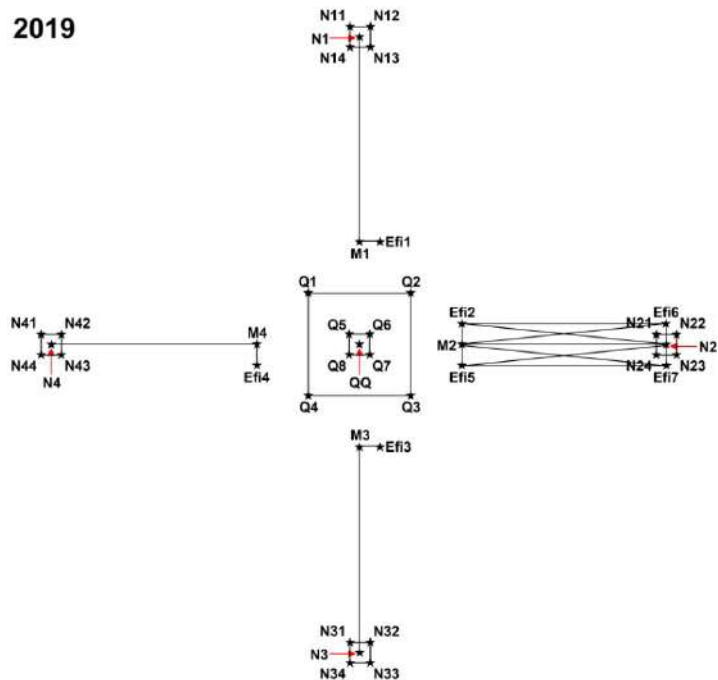


Рис. 6. Схема полевых измерений методами ЗСБ и МТЗ, которые планируется провести летом 2019 года

При проведении повторных полевых экспериментов планируется сделать следующее (рис. 6):

1. На территории участка работ 2019 года полностью повторить все измерения, проведенные в 2018 году, с тем же пространственным расположением всех элементов генераторной и регистрирующей групп;

2. Провести измерения методом ЗСБ соосными петлями (генерирующая петля размерами 100x100 м и измерительная петля размерами 20x20 м) с центрами в дальних (от центральной генерирующей петли Q1Q2Q3Q4) концах соответствующих измерительных линий MN – точках N1, N2, N3 и N4;

3. Провести запись нормальной электрической компоненты  $E_{\phi}$  от линий M1Efi1, M2Efi2, M2Efi5, N2Efi6, N2Efi7, M3Efi3 и M4Efi4, каждая из которых параллельна соответствующей стороне центральной генераторной петли;

4. Провести регистрацию сигналов на линиях Efi2Efi6, Efi5Efi7, M2Efi6, M2Efi7, N2Efi2 и N2Efi5.

Измерения методом ЗСБ соосными петлями с центрами в точках N1, N2, N3 и N4 необходимы для более детального изучения геологического строения участка работ.

Запись сигналов на линиях M1Efi1, M2Efi2, M2Efi5, N2Efi6, N2Efi7, M3Efi3 и M4Efi4 нужна для того, чтобы посредством пересчета можно было построить теоретические кривые для соответствующих радиальных линий M1N1, M2N2, M3N3, M4N4, Efi2Efi6 и Efi5Efi7, а также для того, чтобы сравнить между собой сигналы для параллельных линий.

Регистрация сигналов на линиях M2Efi6, M2Efi7, N2Efi2 и N2Efi5 необходима для изучения влияния неправильной расстановки радиальных измерительных линий на местности, а именно – смещения одного из концов линии M2N2 перпендикулярно ее номинальному положению.

Все вышеперечисленные этапы измерений, планируемые в 2019 году на участке работ 2018 года, необходимо повторить на некотором удалении (первые 10 км) от участка работ для исключения влияния места проведения измерений на их результаты. Этот этап полевых экспериментов также планируется на летний период 2019 года.

В заключение хотелось бы отметить, что по имеющимся на данный момент результатам полевых работ нами была получена первая оценка холловской проводимости около  $1-2 \cdot 10^{-3}$  См/м – данный результат требует уточнений и проведения с этой целью повторных полевых экспериментов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-05-00083 А.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Библиотека сибирского краеведения. Татарский район. <http://bsk.nios.ru/nso/tatarskiy-yaouon>.
2. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: Наука, 1967. – 685 с.
3. Годовой геологический отчет по Татарской буровой партии за 1951 г. Татарск, 1952
4. Гурьев В.А., Могилатов В.С., Потапов В.В. Участие в полевых экспериментах по выявлению эффекта Холла в геологической среде // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле: Материалы конф. (Новосибирск, 19-23 ноября 2018 г.) – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – С. 162-164.
5. ЗАО «СибГеоСистемы». Аппаратура. Телеметрическая аппаратура «FastSnap» для электромагнитных зондирований. <http://www.sibgeosystems.ru/hardware/FastSnap/>.
6. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 621 с.
8. Могилатов В.С. Малоизученные феномены в электроразведке // Записки Горного института. – 2016. – Т. 222. – С. 783-788.
9. Могилатов В.С. О влиянии геомагнитного поля на процесс установления токов в земле // Геофизика. – 2013. – № 4. – С. 70-75.
10. Могилатов В.С., Плоткин В.В. Учет холловской проводимости в электромагнитных зондированиях Земли [Электронный ресурс] // Геомодель 2017: 19-я конф. по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа: тезисы докладов (Геленджик, 11-14 сентября 2017 г.) – 2017. – 6 с.
11. Могилатов В. С., Потапов В. В., Гораявчева А. А. Анализ и экспериментальное обнаружение гальваномагнитных явлений при зондированиях становлением // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 3. – С. 234–240.

12. ООО «Цикл Гео». Геофизические приборы и технологии. Все для электроразведки. Система «Цикл». Измеритель «Цикл-7». <http://tsikl-geo.com/ru/components/receiver-tsikl-7/>
13. ООО «Цикл Гео». Геофизические приборы и технологии. Все для электроразведки. Система «Цикл». Коммутаторы. Коммутатор тока «Цикл-T50». <http://tsikl-geo.com/ru/components/transmitters/tsikl-t50/>
14. Плоткин В. В., Могилатов В. С., Потапов В. В. Модификации метода Треффца для оценки вклада эффекта Холла при магнитотеллурическом зондировании // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 3. – С. 420-432.
15. Подробные онлайн карты России. Спутниковая карта России с улицами, регионы и города. Карта Новосибирской области с улицами и номерами домов. <http://mapsrf.ru/novosibirskaja-oblast-karta.html>
16. Рецензия на работу А. П. Булмасова – «Геофизические исследования в центральной части Западно-Сибирской низменности» (Отчет Барабинской геофизической экспедиции за 1948 г.). – Новосибирск, 1949.
17. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учебное пособие для вузов в 5 томах. Т. 3. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, Издательство МФТИ, 2004. – 656 с.
18. Тезисы доклада по отчету Барабинской геофизической экспедиции за 1948 г. по теме: «Геофизические исследования в центральной части Западно-Сибирской низменности». Новосибирск, 1948
19. Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 400 с.
20. Hall, E.H. On a New Action of the Magnet on Electric Currents // American Journal of Mathematics. – 1879. – Vol. 2. – P. 287-292.
21. Phoenix Geophysics Ltd. Field sensors. <http://www.phoenix-geophysics.com/products/sensors/>.

© В. А. Гурьев, В. С. Могилатов, В. В. Потапов, 2019