

СНИИГГиМС В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ В РОССИИ

Ф. М. Каменецкий¹, В. В. Филатов²¹Университет Людвиг-Максимилиана, Мюнхен, Германия; ²Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

История отечественной электроразведки – это прежде всего история возникновения, развития и угасания научных школ, а также история жизни и творчества ученых, которые эти школы создавали. На фоне истории российской электроразведки дан краткий исторический экскурс становления электроразведочной школы в Сибири, сложившейся в результате тесного сотрудничества специалистов СНИИГГиМС и ИГиГ СО АН СССР. Охвачен период от середины 1960-х гг. до настоящего времени. Учитывая юбилей СНИИГГиМС, мы акцентировали основное внимание на работах геофизиков института.

Ключевые слова: история, электроразведка, научные центры Сибири, электроразведка ЗСБ (ЗМПП), аэроэлектроразведка, электромагнитное сканирование, Сибирская платформа, СНИИГГиМС.

SNIGGIMS IN THE HISTORY OF DEVELOPMENT OF ELECTRIC EXPLORATION IN RUSSIA

F. M. Kamenetsky¹, V. V. Filatov²¹Ludwig Maximilian University of Munich, Munich, Germany; ²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The paper gives a description of remarkable works of the electrical exploration creator Konrad Schlumberger and his company that moved to Russia in the early 30^s of the last century and covers the pre-war and post-war periods and their continuation up to the present day, including the participation of scientists who worked in SNIGGIMS at various times. People make history. This essay is also about people. First of all, about our teachers, about the electric exploration researchers of the older and successive generations, whose efforts initiated modern electric exploration.

Keywords: history, electric exploration, Schlumberger, France, scientific centers of European Russia and Siberia, SNIGGIMS.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-12s-79-84

История российской электроразведки насчитывает почти 150 лет. Одним из первых мысль об использовании электрических и электромагнитных эффектов для изучения Земли высказал в России П. И. Бахметьев в конце XIX в. Порфирий Бахметьев, согласно существовавшим тогда законам, по завершении реального училища не имел права учиться в российских университетах, и ему пришлось уехать в Швейцарию, где в 1880 г. он поступил в Цюрихский университет. Затем у него возник конфликт с российскими властями, и он переехал в Болгарию, где со временем стал профессором Софийского университета. В Россию он приехал только незадолго до смерти в 1913 г. и, в частности, выступил с первым научным сообщением о возможности использования электрических эффектов в геологических целях.

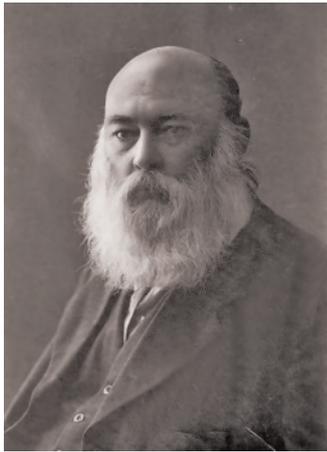
В 1903 г. появилась монография Е. И. Рагозина «О применении электричества к исследованию рудных залежей», где были рассмотрены вопросы распространения электрического поля в геологических структурах. К сожалению, эта работа тогда осталась практически незамеченной, и только через 20 лет были разработаны теоретические и практические методы электроразведки постоянным током в геологии.

Важнейшую роль в развитии прикладной европейской и российской электроразведки сыграл Конрад Шлюмберже [2]. Он создал и практически

опробовал один из основных методов электроразведки – метод сопротивлений, включающий вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), а также электропрофилирование (ЭП). В практику были введены понятия: горизонтально-слоистая модель Земли, кажущееся сопротивление, билогарифмический масштаб для отображения кривых ВЭЗ, палетки для интерпретации. Тогда же был создан потенциометр Шлюмберже, широко применявшийся в электроразведке и для электрокаротажа скважин до 1970-х гг. Он производился во многих странах, в том числе и в России. В фирме «Шлюмберже» был разработан и впервые применен метод естественного поля (ЕП) и предложен метод вызванной поляризации (ВП) для поисков вкрапленных руд.

В начале 1930-х гг. фирма начала работы в СССР. В 1929 г. с ней был заключен контракт, и многие инженеры фирмы переехали работать в Россию. В «Шлюмберже» работали и многие российские студенты и молодые ученые, будущие разработчики советской разведочной геофизики, поэтому роль французских геофизиков в становлении российской электроразведки оказалась весьма значительной.

В 1936 г. сотрудники фирмы были обвинены в шпионаже. Тех, кто обладал французским гражданством, выслали из страны, остальных арестовали. Через несколько дней после возвращения во Францию у К. Шлюмберже случился инфаркт, и он умер.



П. И. Бахметьев
(1860–1913)



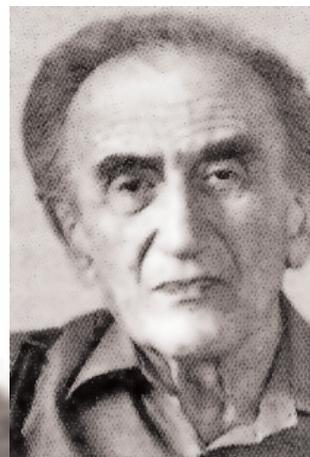
К. Шлюмберже
(1878–1936)



А. А. Петровский
(1873–1942)



В. Б. Бурсиан
(1886–1945)



С. М. Шейнманн
(1903–1986)

Для дальнейшего развития российской электроразведки огромное значение имели исследования профессоров Ленинградского университета, в первую очередь А. А. Петровского (1873–1942) [2]. Он пришел в геофизику в 1920-х гг., уже будучи известным физиком и наиболее крупным радиотехником того времени. Под его руководством к 1924 г. независимо от фирмы «Шлюмберже» была разработана теория, методика и аппаратура ЕП. Также он занимался развитием и внедрением методов постоянного тока (ВЭЗ, ЭП) и ондометрии (так раньше назывались методы высокочастотного переменного тока).

Особую роль в развитии электроразведки сыграл В. Р. Бурсиан (1886–1945), который внес большой вклад в разработку математической теории и практики применения метода сопротивлений и электромагнитных методов. В. Р. Бурсиан происходил из обрусевших немцев, и судьба его трагична: в 1937 г. он был арестован и отправлен в лагерь, где через несколько лет умер.

Ведущим теоретиком в этой группе выдающихся электроразведчиков, безусловно, был С. М. Шейнманн (1903–1986), талантливый ученик В. Р. Бурсиана [2]. Его судьба также была трудной:

несколько лет он, как и его учитель, провел в лагерях и тюрьмах. Арестовывали его трижды: в 1923 г. (еще студентом Политехнического института, где и слушал лекции В. Р. Бурсиана), в 1931 г. (работал во ВНИГРИ) и в 1949 г. (Московский филиал ВНИГРИ). По ссылкам, лагерям и «шарашкам» исколесил всю страну. По всем делам был со временем реабилитирован. Освободился в 1954 г., жил в Ленинграде, работал в ВИРГ, стал доктором технических наук. До, во время и после отсидок занимался геофизикой, т.е. физикой гетерогенной (флюидо-породной) среды, развивал теорию метода ВП. Тем самым С. М. Шейнманн сыграл огромную роль в развитии ЭМ-геофизических методов. Он был первым, кто ввел ВП в уравнения Максвелла в виде стороннего тока диффузии. Результаты своих исследований изложил в монографии «Современные физические основы теории электроразведки» (Л., Недра, 1969).

Теория метода частотного зондирования (ЧЗ) и магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в современном виде была сформулирована академиком А. Н. Тихоновым (1906–1993) и его учениками. К этой же группе относятся ученые, развивавшие идеи А. Н. Тихонова, – М. Н. Бердичевский (МТЗ) и Л. Л. Ваньян (зондирования становлением поля в дальней зоне источника (ЗСД)), а также сотрудники ИГиГ (впоследствии Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) СО РАН) в Новосибирске.

Одна из первых электроразведочных научных школ сформировалась в Московском геолого-разведочном институте (МГРИ). Основал ее заведующий кафедрой геофизики профессор А. И. Заборовский (1894–1976), автор научных работ по теории ЭМ-методов и двух учебников по электроразведке. К этой школе принадлежали в том числе Ю. В. Якубовский (1918–2012) и Ф. М. Каменецкий (1930–2018), руководившие Отраслевой научно-исследовательской лабораторией ЭМ-геофизических методов (ОНИЛ ЭГМ). Основным достижением лаборатории было создание метода переходных процессов (МПП), или, в соответствии с другим часто используемым названием, метода зондирования



становлением поля (ЗС). МПП был зарегистрирован как изобретение.

Что же касается изучения поляризуемости горных пород, то наиболее плодотворной для создания общей феноменологической теории (ОФТ) ЭМ-поля в поляризующихся средах оказалась идея екатеринбургского геофизика профессора В. В. Кормильцева (1936–2006), который ввел в уравнения ЭМ-поля поляризуемость независимо от ее природы [13].

В ИГиГ электроразведочные работы возглавили москвичи Д. С. Даев и Л. Л. Ваньян, сплотившие группу талантливых молодых ученых. В этот период были созданы теоретические основы метода зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и выполнена оценка влияния вмещающей среды на результаты наблюдений в индукционной рудной электроразведке. А. А. Кауфманом была разработана теория индукционного каротажа. Принципи-



А. Н. Тихонов
(1906–1993)



Ф. М. Каменецкий
(1930–2018)



В. В. Кормильцев
(1936–2006)



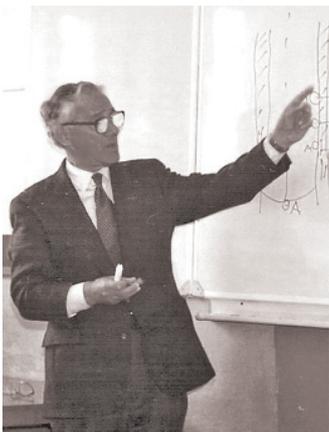
Л. Л. Ваньян
(1932–2001)

Эта теория была развита Ф. М. Каменецким как для электрической, так и для магнитной поляризации. Впоследствии на ее основе для метода ЗС был разработан и широко опробован способ разделения индукционных и поляризационных полей (Ф. М. Каменецкий, В. М. Тимофеев, Г. М. Тригубович, А. В. Чернышев [3, 12,13]).

Другим крупным центром развития электроразведки в 1960–1970-е гг. в России стал Новосибирск в связи с созданием здесь Института геологии и геофизики в составе Сибирского отделения Академии наук СССР. Здесь сложилась уникальная ситуация: наличие мощной вычислительной базы и Новосибирского государственного университета, обеспечивающего подготовку высококвалифицированных специалистов, а также переезд в Новосибирск ведущих ученых из западных научных центров России и Украины.

альным шагом вперед стали работы Л. А. Табаровского по использованию интегральных уравнений при решении прямых задач теории ЭМ-поля в горизонтально-неоднородных проводящих средах, что расширило круг рассматриваемых моделей и способствовало существенному развитию теоретической базы методов электроразведки. Важным этапом стало создание (с участием Л. А. Табаровского, Г. М. Морозовой (1936–2010), В. Н. Соколова, М. И. Эпова) программы расчета ЭМ-полей в горизонтально-слоистых проводящих средах. Результаты расчетов по этой программе послужили основой для многих теоретических и методических исследований в области электроразведки.

Одновременно в Новосибирске был создан отраслевой институт Министерства геологии – Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), в котором направлению, связанному с электроразведочными работами, уделялось большое внимание. В 1970–1980-х гг. работы в области рудной электроразведки возглавлял Г. А. Исаев (1937–1992), а в области нефтяной электроразведки – Б. И. Рабинович (1930–2000). Теоретические и экспериментальные исследования СНИИГГиМС были нацелены на решение конкретных геологических задач, на создание соответствующего методического и технологического сопровождения полевых работ и интерпретации получаемых материалов. В 1970–1993 гг. в связи с успешным проведением электроразведочных работ ЗСБ на Сибирской платформе (первое полевое зондирование этим методом было выполнено летом 1970 г. в среднем течении р. Подкаменная Тунгуска) институт занял



А. А. Кауфман



Л. А. Табаровский

Б. И. Рабинович
(1930–2000)Г. А. Исаев
(1937–1992)В. С. Сурков
(1926–2016)

А. К. Захаркин

лидирующие позиции в широком внедрении этого метода электроразведки в практику [1]. Немаловажным фактором также послужила практическая востребованность разработок СНИИГГиМС в геофизическом освоении Сибирской платформы. Неоценимую роль сыграла также многолетняя последовательная позиция директора института В. С. Суркова, активно поддерживавшего развитие электроразведочного направления.

Совместными усилиями СНИИГГиМС и СибОКБ была последовательно создана линейка приборов (сначала «Цикл-1», затем «Цикл-2», «Импульс-Ц», «Импульс-Ц2», «Импульс-3», «Цикл-4»). В этой работе заметный след оставили Д. И. Кунин, В. Е. Гольдорт, Г. В. Саченко, А. И. Паули, Б. П. Балашов, Ф. М. Хаов, А. К. Захаркин.

Не последнюю роль сыграло и партнерское взаимодействие с сотрудниками ИГиГ СО АН СССР, имевшими передовые позиции в СССР в теоретических аспектах метода.

В это время в СНИИГГиМС регулярно проводились семинары, на которых ученые и производственники со всей Сибири делились полученными результатами и обсуждали возникающие проблемы.

Помимо этого, выполнялись нацеленные на перспективу исследования по целому ряду направ-

лений. Изучались возможности использования многокомпонентных ЭМ-зондирований и интерпретации данных (Б. И. Рабинович, В. С. Могилатов, В. В. Финогеев). Ц. М. Левицкой и Н. Г. Полетаевой были начаты работы по изучению поляризуемости горных пород на представительной коллекции образцов руд и осадочных пород в условиях воды и нефтенасыщения, а также исследования ЭМ-поля в поляризующихся средах (Г. А. Исаев, Н. Г. Полетаева) и в средах с магнитной вязкостью (А. К. Захаркин, Н. О. Кожевников). Кроме того, Я. И. Гитарцем и С. С. Форгангом был завершен и опробован криогенный магнитометр «Криом». Началось широкое использование в полевой практике электроразведочной аппаратуры серий «Цикл» и «Импульс». В. С. Могилатовым предложен новый тип источника поля – круговой электрический диполь, эквивалентный вертикальной линии АВ [5].

Наряду с интенсивным развитием ЗСБ в нефтепоисковой области в институте активно развивалось параллельное направление в области рудной геофизики под руководством Г. А. Исаева. Усилиями коллектива, куда входили Г. М. Тригубович, Г. Б. Ицкович, В. В. Филатов, Н. Г. Полетаева, для поисков и разведки рудных месторождений была разработана технология зондирований методом переходных процессов (ЗМПП), которая успешно применялась



Н. Г. Полетаева



В. В. Филатов



Ю. Г. Соловейчик



А. В. Чернышев

на рудных месторождениях Горного Алтая и в Норильском рудном районе [4].

Дальнейшее развитие матобеспечения интерпретации ЗСБ на рубеже 1990-х гг. привело к рождению программ с автоматизированной обратной задачей и развитым графическим интерфейсом: это программы «ЭРА» (М. И. Эпов, И. Н. Ельцов, Ю. А. Дашевский, ИГИГ СО АН СССР), «ПОДБОР» (В. С. Могилатов, А. В. Злобинский, СНИИГГиМС [6]).

В середине 1990-х гг. объемы ЭМ-исследований, проводимых в России, были значительно сокращены из-за трудностей финансирования во время перестроечного периода, что привело к сворачиванию некоторых направлений и к отъезду ряда квалифицированных специалистов за рубеж.

Тем не менее работы по созданию новых электроразведочных технологий активно продолжались. В частности, именно в это время Г. А. Исаевым и В. В. Филатовым был создан и успешно опробован аппаратно-методический комплекс ЯМР-МПП для поисков пресных вод, объединяющий магнитно-резонансные и электромагнитные методы [7].

Были разработаны и внедрены в практику электроразведки ЗСБ быстрые программы решения прямых и обратных задач на основе системы уравнений Максвелла в трехмерных областях (Ю. Г. Соловейчик, М. Г. Персова, Г. М. Тригубович). На их базе была создана новая технология 3D-ЗСБ (Г. М. Тригубович, М. Г. Персова, А. В. Чернышев, А. А. Белая, М. В. Абрамов [9]). Под технологией 3D-ЗСБ®, в отличие от других декларируемых методов 3D-электроразведки, подразумевается приведение в соответствие экспериментальных и теоретических значений отклика исследуемой среды во всей пространственно-временной области одновременно для всех положений приемно-генераторной конструкции путем дискретного подбора объемного распределения проводимости в геологической среде.

Для метода ЗС реализован способ разделения индукционных и поляризационных полей (Ф. М. Каменецкий, Г. М. Тригубович, А. В. Чернышев [13]). Способ основан на использовании результатов измерений с установками разных размеров и/или кон-

фигурации и успешно опробован при картировании нефтяных коллекторов в Сибири, на кимберлитовых объектах Якутии и рудных объектах Алтая. Он является составной частью технологии трехмерной электроразведки ЗС в комплексе с магнитотеллурикой. Для площадных исследований 3D-ЗСБ используется закрепленный источник ЭМ-поля и до 100 пространственно-разнесенных приемников [8].

В аэрогеофизике способ реализован на результатах измерений с многодатчиковыми системами.

Все эти технологии развиваются и в настоящее время. ЭМ-исследования в Институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (ИНГГ) и в СНИИГГиМС возглавляет академик М. И. Эпов. Видное место занимают развитие методов каротажа скважин, исследование закономерностей распространения ЭМ-полей в дисперсных и анизотропных средах, разработка программного обеспечения для решения прямых и обратных задач.

Значительные успехи достигнуты в области аппаратурных разработок методом ЗС и теоретического анализа поведения ЭМ-полей в поляризующихся (диспергирующих) геологических средах. Эти работы ведутся в СНИИГГиМС и компании «ЕМ-Разведка» в Новосибирске профессором Г. М. Тригубовичем и его сотрудниками А. В. Чернышевым, А. А. Белой, М. В. Абрамовым, А. В. Куклиным и др. Основное направление работ – создание поисково-оценочных комплексов для углеводородных сред и твердых полезных ископаемых, которые включают наземные технологии и аэрогеофизику, обеспеченных современным базовым аппаратурным комплексом серии «Импульс» [2, 10, 13].

Отметим, что заметной тенденцией развития аэрогеофизики, получившей широкое распространение на Западе, является использование вертолетных разведочных платформ. По своим техническим характеристикам вертолетные платформы существенно превосходят самолетные системы, благодаря новым техническим решениям в области специальных авианесущих конструкций, мощного электромагнитного канала, приближения геофизических сенсоров к объекту исследования.



В. С. Могилатов



М. И. Эпов



Г. М. Тригубович



Начало применения вертолетной электроразведки в мире относят к 1962 г., когда А. Барринджером (1962) была создана оригинальная электромагнитная система INPUT (Induced Pulse Transient electromagnetic exploration system), принцип построения которой актуален до сих пор. В настоящее время наиболее продвинутые системы аэроэлектромагнитных зондирований предлагаются многими зарубежными компаниями (The HELITEM time-domain EM system, SkyTEM, Geotech VTEM, CGG fixed-wing TDEM systems, fixed wing SPECTREM2000 time-domain EM). Однако до сих пор аэрогеофизика является исключительной областью деятельности специализированных контрагентов.

Первая русская система АТЕМ-h была разработана в Москве Ф. М. Каменецким (МГРИ, 1978). Следующая, более мощная система IMPULSE-A – Г. М. Тригубовичем (СНИИГГиМС, 1999). Работа была проведена совместно с кафедрой аэрогидродинамики НГТУ (С. Д. Саленко). Всесторонняя и поддержка разработки директором СНИИГГиМС академиком В. С. Сурковым позволила провести ее летные испытания уже летом 2000 г., а построена система в 1999 г.

Были также разработаны варианты аэроэлектроразведки методом переходных процессов (АМПП) с размещением генераторного контура на фюзеляже легкого вертолета К-26, а приемного – в выпускной гондоле; вертолетная поисковая электромагнитная система становлением поля «Импульс-А5» для поисково-оценочных работ на ТПИ с использованием высокочастотного электромагнитного канала.

Для наземных работ под руководством Г. М. Тригубовича разработана технология электромагнитного сканирования во временной области (ЭМС), реализованная на основе измерений по методу переходных процессов (МПП), выполняемых в движении [11].

В отличие от других методов наземной электроразведки, технология ЭМС обеспечивает высочайшую плотность точек измерений (от 1800 до 450000 на 1 км съемки), благодаря чему обеспечивается высокая точность регистрации процесса становления поля. Высокая плотность исследований позволяет выполнять прецизионные структурно-вещественные построения в рудной электроразведке для наиболее востребованного на сегодня диапазона глубин до 150 м.

К сожалению, в нашем кратком очерке невозможно охватить все направления электромагнитных исследований, которые развиваются в сибирской школе электроразведки и перечислить всех участников «большого электроразведочного бума», который начался в 1950–1960-е гг. и не затих до сих пор, несмотря на все кризисы, перестройки, перекраивание границ и прочие мелкие неприятности.

Но мы надеемся, что нам удалось показать: электроразведочные направления не только не угасли, но и продолжают развиваться, открывая перед современной геофизикой все новые горизонты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Захаркин А. К.** СНИИГГиМС – инициатор постановки нефтепоисковых электроразведочных работ ЗСБ на Сибирской платформе (исторический экскурс) // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири.* – 2021. – № 3. – С. 112–118.
2. **Каменецкий Ф. М., Золотая Л. А.** Очерк об истории российской электроразведки // *Геофизика.* – 2017. – № 2. – С. 88–95.
3. **Каменецкий Ф. М., Тригубович Г. М.** Феноменология вызванной поляризации // *Геофизика.* – 2013. – № 3. – С. 80–83.
4. **Методические** рекомендации по интерпретации зондирований методом переходных процессов / Г. А. Исаев, Г. Б. Ицкович, Г. М. Тригубович, В. В. Филатов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1985. – 90 с.
5. **Могилатов В. С., Балашов Б. П.** Зондирование вертикальными токами (ЗВТ) // *Изв. РАН. Сер. Физика Земли.* – 1994. – № 6. – С. 73–79.
6. **Могилатов В. С., Захаркин А. К., Злобинский А. В.** Математическое обеспечение электроразведки ЗСБ. Система «Подбор». – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2007. – 155 с.
7. **Сторожев А. В., Филатов В. В.** Обратные задачи геофизической ЯМР-томографии // *Геофизика.* – 1996. – № 5–6. – С. 89–94.
8. **Тригубович Г. М.** Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования // *Разведка и охрана недр.* – 2007. – № 8. – С. 80–87.
9. **Тригубович Г. М., Персова М. Г., Соловейчик Ю. Г.** 3D-электроразведка становлением поля. – Новосибирск: Наука, 2009. – 214 с.
10. **Филатов В. В., Тригубович Г. М.** О феноменологии электромагнитных полей. – Новосибирск: Свиныин и сыновья, 2022. – 176 с.
11. **Электромагнитное** сканирование во временной области для решения рудных и инженерных задач / А. А. Белая, А. В. Куклин, Г. М. Тригубович, А. В. Чернышев // *Инженерная и рудная геофизика: Матер 17-й науч.-практ. конф. и выставки.* – Геленджик, 2021. – С. 36.
12. **Kamenetsky F. M., Stettler E. H., Trigubovich G. M.** Transient Geo-Electromagnetics. – Munich: L-M University, 2010. – 306 p.
13. **Kamenetsky F. M., Trigubovich G. M., Chernyshev A. V.** Three lectures on geological medium induced polarization. – Munich: L-M University, 2014. – 56 p.