

— проанализировать возможности и внести предложения по развитию дополнительного образования геологического профиля (краеведческая работа, кружки юных геологов и др.);

— разработать механизм привлечения Российского геологического общества и других общественных структур геологического профиля к независимой общественной экспертизе Государственных образовательных стандартов всех уровней образования, примерных программ по учебным дисциплинам, к организации дискуссий по проблемам геологического образования и проведению научно-практических конференций и совещаний.

5. Заключить Соглашение «О взаимодействии между Министерством природных ресурсов Российской Федерации и Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации». Управлению региональной, социальной и кадровой политики Министерства природных ресурсов Российской Федерации и Управлению образовательных программ и стандартов высшего и среднего профессионального образования Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации до 01.08.99 доработать проект Соглашения с учетом высказанных замечаний и представить на утверждение Министерств.

Поступила в редакцию
01.06.99

УДК 550.837

В.К. Хмелевской, А.Г. Яковлев, И.Н. Модин, П.Ю. Пушкарев, Н.Р. Казурова

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРАКТИК

Введение. С 1992 г. учебно-производственные геофизические практики для студентов-геофизиков МГУ, а с 1998 г. — и Московской геологоразведочной академии проводятся в Калужской области. База практик, созданная в д. Александровка Юхновского района Калужской области геологическим факультетом МГУ и ООО «Агат-Авто», снабжена геофизической и компьютерной техникой, всем необходимым для работы и жизни студентов и преподавателей. На практике применяются 15 разных типов отечественной геофизической аппаратуры (в том числе электроразведочные станции на четырех автомобилях), используемой в 14 методах электроразведки, а также в гравиразведке и магниторазведке. В последнее время проводятся и дополнительные зимние практики.

При отсутствии бюджетного финансирования практик их проведение оказалось возможным лишь благодаря финансовой поддержке со стороны ООО «Агат-Авто», Минприроды РФ и Минтопэнерго РФ. При этом перед студентами наряду с учебными заданиями (изучение аппаратуры, методики геофизических работ и компьютерной обработки материалов) ставятся и производственные задачи. Практики стимулируют совершенствование аппаратуры и методики полевых работ, а также методов решения прямых и обратных задач, позволяют вести геофизическое изучение района, ежегодно наращивая исследуемые площади, дают материал для написания бакалаврских, дипломных и магистерских работ.

Калужская область расположена в юго-западной части Московской синеклизы, представляющей собой типичную платформенную область. Мощность осадочного чехла здесь около 1 км. Его верх-

няя часть сложена неоднородными по петрофизическому составу песчано-глинистыми отложениями (в основном четвертичными). Под ней залегает преимущественно карбонатная нижнекаменноугольно-верхнедевонская толща с прослоями глин и гипсов, а в самом низу чехла — преимущественно терригенная среднедевонская толща, насыщенная высокоминерализованными водами [3, 5].

Любопытно, что в районе проведения практик разворачивались многие исторические события, важные для судьбы Российского государства. Так, в 1480 г. на этом месте русские полки дали отпор хану Ахмату, что завершило более чем двухсотлетний период монголо-татарского ига, в 1812 г. здесь действовал г. артизанский отряд Дениса Давыдова, а в 1941—1943 годах в этом районе шли тяжелые бои с немецко-фашистскими захватчиками [4]. Кроме того, с древности (VIII в. до н. э.) здесь возникали и исчезали различные поселения, остатки которых в настоящее время являются интересными археологическими объектами.

Характеристика применяемых методов. При проведении учебно-производственных практик применялись следующие методы электромагнитных зондирований (ЭМЗ): георадиолокационные (георадарные), вертикальные, сплошные, бесконтактные и дипольные электрические (ВЭЗ, СЭЗ, БЗ, ДЭЗ); вызванных потенциалов (ВЭЗ—ВП); частотные (ЧЗ); становлением поля в ближней зоне (ЗСБ); магнитотеллурические (МТЗ); электромагнитных профилирований (ЭМП): резистивиметрии (РМ); естественной (ЕП) и вызванной (ВП) поляризации; контактного (ЭП) и бесконтактного (БИЭП) профилирования [6, 8]. Кроме того, проводилась практи-

ка по гравиметрической и магнитной съемкам и микромагниторазведке. Высотная и плановая привязка основных пунктов наблюдения с точностью 10–20 см осуществлялась с помощью спутниковой навигационной системы GPS.

Каждый из используемых методов электроразведки развивается относительно самостоятельно, предназначен для изучения определенных интервалов глубин и с разным успехом применяется для геологического картирования и решения глубинных, структурных, поисково-разведочных, инженерно-геологических, гидрогеологических, геоэкологических, техногенных и археологических задач. Сочетание перечисленных методов ЭМЗ, основанных на разной природе образования аномалий и различной связи определяемых параметров поля с петрофизическими характеристиками слоев и толщ изучаемого района, обеспечивает непрерывность изучения среды по глубине от земной поверхности до глубин 100–200 км, а также повышение информативности и однозначности интерпретации.

В результате ЭМЗ, основанных на изменении удельного электрического сопротивления (УЭС) слоев изучаемого разреза, строятся кривые ЭМЗ. Они представляют собой графики зависимостей кажущихся сопротивлений, полученных при полевых работах, от параметров глубинности. Роль параметров глубинности в ВЭЗ и ДЭЗ играют расстояния между питающими и приемными электродами (R), в ЧЗ и МТЗ — \sqrt{T} , где T — период гармонических колебаний, в ЗСБ — $\sqrt{2\pi \cdot t}$, где t — время становления импульсного поля [2, 6, 7, 8].

На рис. 1 приведены типичные кривые ВЭЗ–ДЭЗ, ЗСБ, ЧЗ и МТЗ, полученные в районе проведения практик. При этом оси абсцисс R и $\sqrt{2\pi \cdot t}$, \sqrt{T} смещены одна относительно другой таким образом, чтобы добиться наилучшего совпадения кривой ВЭЗ–ДЭЗ с кривыми других методов на участках, соответствующих слабой контрастности геоэлектрических слоев по УЭС (левая часть графиков). Однако на участке, соответствующем высокоомному экрану (слою известняков с прослоями гипсов очень высокого УЭС), такого совпадения нет (кривая ВЭЗ–ДЭЗ поднимается вверх, а кривые остальных методов опускаются вниз). Это явление объясняется разной природой (гальванической и индуктивной) образования аномалий в этих методах.

Компьютерная пометодная интерпретация кривых ЭМЗ проводилась в основном традиционными приемами, основанными на использовании одномерной (горизонтально-слоистой) модели среды. Для этого применялись созданные на кафедре геофизики МГУ программы решения обратных одномерных задач [7]. Удобные графические интерфейсы этих программ позволяют легко и быстро подбирать параметры (мощности и УЭС слоев) разреза, согласующиеся как с полевыми данными, так с априорной геолого-геофизической информацией. Кроме того, при проведении работ методами ВЭЗ, СЭЗ,

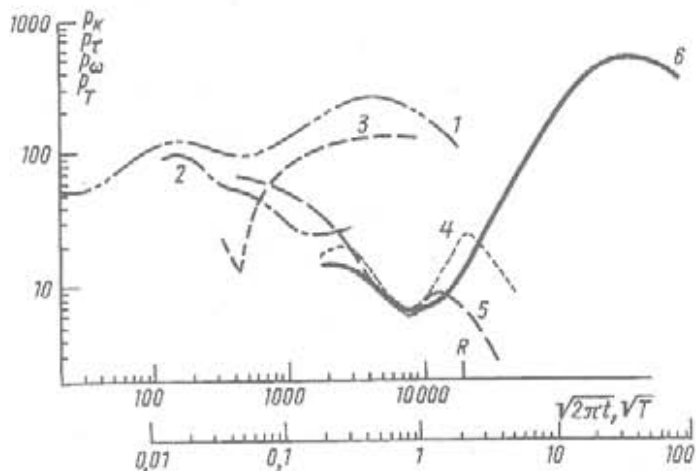


Рис. 1. Типичные кривые основных методов ЭМЗ для района практик: 1 — ВЭЗ–ДЭЗ; 2 — ЗСБ; 3 — ЧЗ (Ex); 4 — ЧЗ (Hy); 5 — ЧЗ (Hz); 6 — МТЗ

БЗ, применяемыми для изучения наиболее неоднородной верхней части разреза, используются программы двумерной интерпретации, также разработанные сотрудниками кафедры геофизики МГУ [7]. Наконец, при интерпретации данных ЧЗ и МТЗ для оценки величины искажения кривых неоднородностями верхней части разреза привлекается двумерное и трехмерное математическое моделирование [1, 8].

По результатам ЭМП и гравимагниторазведки строились графики зависимостей расчетных параметров полей от координат точек их наблюдения. Данные микромагниторазведки представлены в виде карт. Интерпретация материалов этих методов была в основном качественной и сводилась к выявлению аномалий и их истолкованию (геологическому, гидрогеологическому, техногенному, археологическому).

Некоторые результаты ЭМЗ. Наименьшей глубиной (до 10–15 м) отличаются георадиолокационные зондирования. Этот метод имеет сходство с основным геофизическим методом — методом отраженных волн (МОВ) — как по формальной кинематике распространения волн, так и по компьютерной обработке информации. На получаемых в результате наземных и речных съемок георадиограммах (рис. 2) выделялись слои с различными скоростями распространения и затухания радиоволн, зависящие от диэлектрической проницаемости пород и УЭС. На учебно-производственных практиках этот метод применяется для расчленения четвертичных отложений, выявления техногенных включений (металлических труб и др.), а также при изучении археологических объектов, широко распространенных там, где сливаются реки Угра и Воря.

Для изучения неоднородных по простиранию осадочных пород четвертичного и каменноугольного возраста мощностью около 100 м используются методы ВЭЗ, СЭЗ, БЗ и ЗСБ. Особенности изучения этого структурного этажа — двумерный харак-

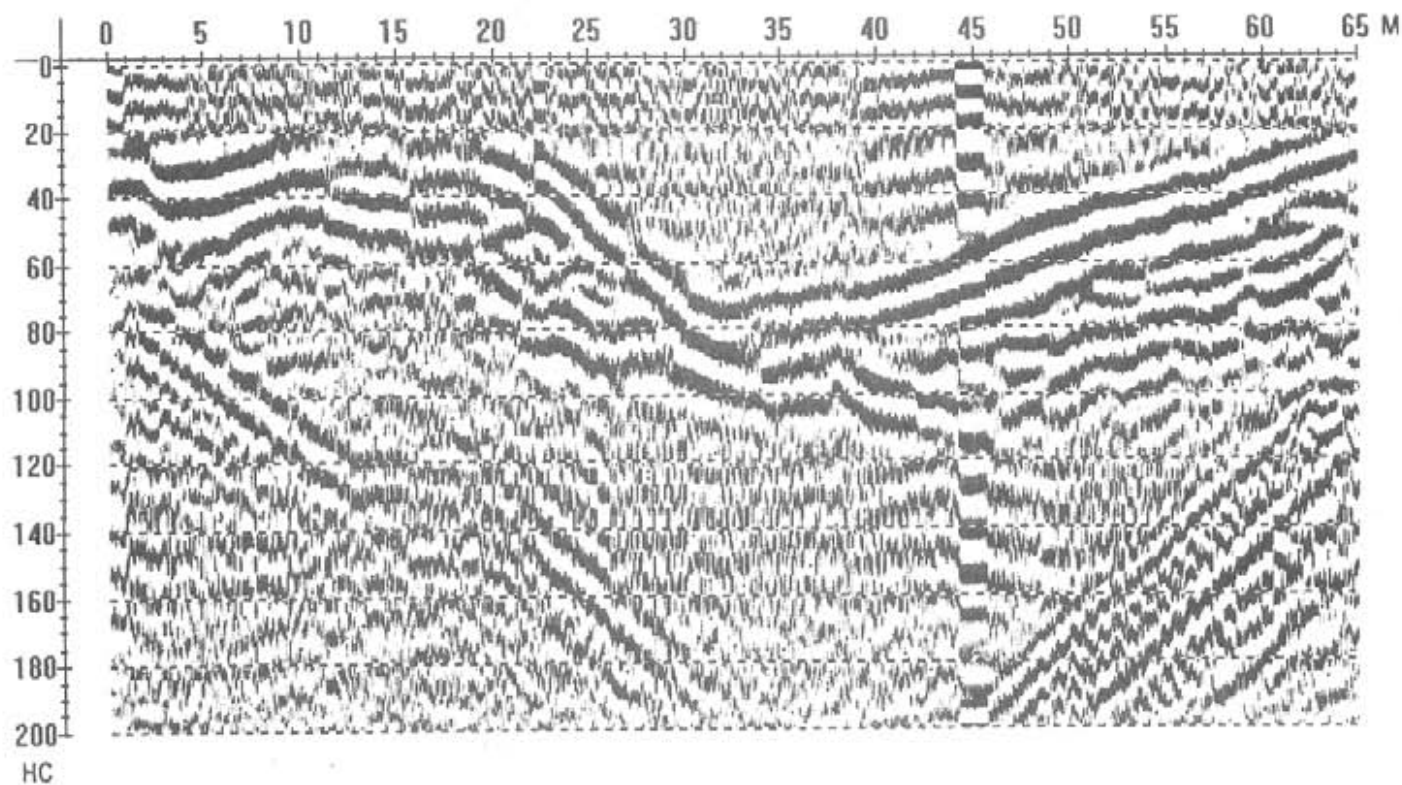


Рис. 2. Результаты георадиолокационных работ по профилю поперек р. Угры (район д. Александровка, июнь 1998). Георадар «Зонд-10», частота 150 МГц

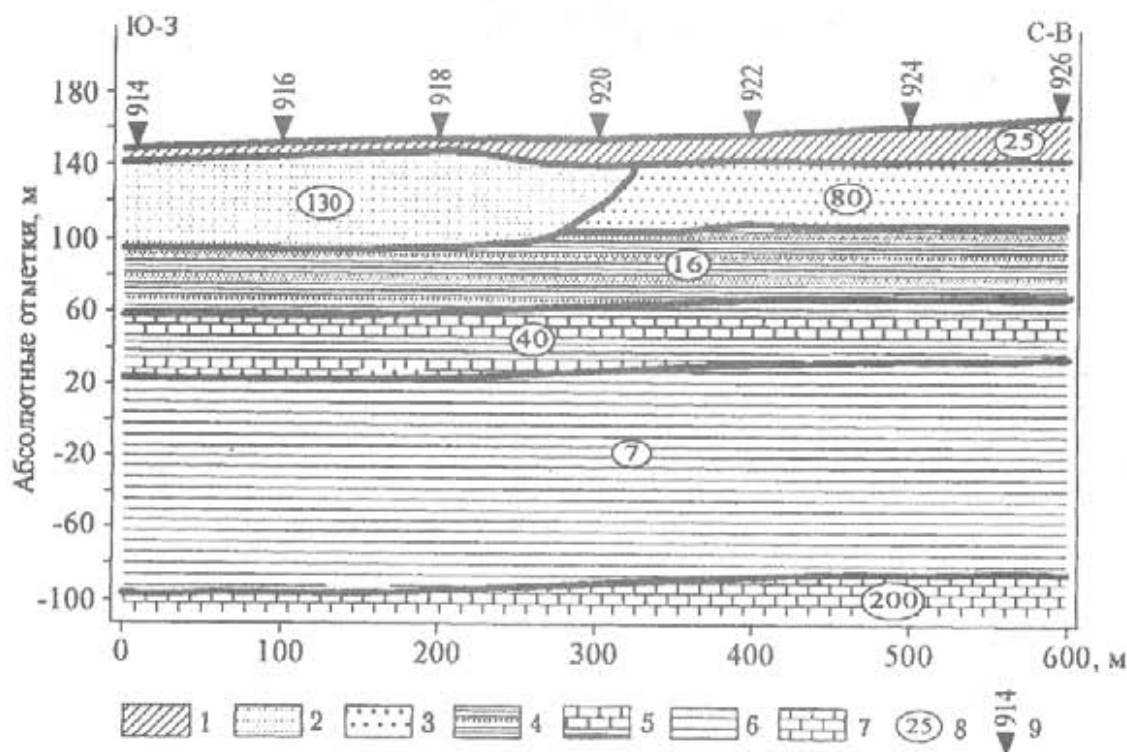


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по одному из профилей вблизи д. Александровка, построенный по данным ЗСБ с учетом данных ВЭЗ: 1 — суглинки; 2 — аллювиальные пески; 3 — пески; 4 — переслаивание глин и песков; 5 — переслаивание глин и известняков; 6 — глины; 7 — известняки; 8 — удельное сопротивление; 9 — точки ЗСБ

тер моделей (УЭС меняется как по глубине, так и по горизонтали — вкрест простирания палеодолин и тектонических нарушений). В качестве примера на рис. 3 приведен геоэлектрический разрез, построенный по данным ЗСБ с учетом данных ВЭЗ по профилю длиной 600 м, пересекающему палеодолину.

Изучение нижележащих толщ осадочного чехла каменноугольного и девонского возраста с детальностью, понижающейся с глубиной, проводилось методами ДЭЗ, ЗСБ и ЧЗ. Эти методы, в частности, позволяют выделять в нижней части осадочного чехла низкоомную толщу, обусловленную присутствием сильно минерализованных вод в расположенных здесь среднедевонских отложениях.

Картирование рельефа поверхности фундамента проводилось с помощью методов ЧЗ и МТЗ. В совокупности с данными менее глубинных методов они позволяют изучить строение всего осадочного чехла. Для примера на рис. 4 приведен геоэлектрический разрез чехла и кровли фундамента по опорному профилю длиной свыше 15 км от д. Александровки до с. Беляево, построенный по данным всех методов ЭМЗ с учетом проведенной ранее сейсморазведки МОВ и гравимангнито­разведки. На рис. 5 приведен схематический геоэлектрический разрез по региональному профилю длиной 100 км, построенный по данным МТЗ. Заметим также, что по правым частям кривых МТЗ на глубинах свыше 100—150 км выделяется проводящая мантия.

Некоторые результаты ЭМП и микромагнито­разведки. Для изучения техногенного загрязнения рек Угра и Воря, в частности для выделения металлических объектов, оставшихся после Великой Отечественной войны (в районе базы практик фронт стоял свыше 1,5 лет), использовался георадиолокационный метод, а также съемки РМ и ЕП. Измеренное в методе РМ кажущееся сопротивление речной воды менялось от 16 Ом·м в р. Воря до 17,5 Ом·м в р. Угра. Это свидетельствует, что, во-первых, минерализация воды в Воре на 10% больше, чем в Угре, во-вторых, вода в реках чистая, загрязнений притоков нет. По данным ЕП, вдоль берегов этих рек естественный электрический потенциал менялся от 0 до 20 мВ, увеличиваясь в местах притоков рек, ручьев. Ряд локальных экстремумов ЕП обусловлен металлическими объектами (затопленным катером и др.).

На рис. 6 представлена карта аномального магнитного поля ΔT центральной части археологического памятника — городища Жары, полученная в результате микромагнитной съемки. Было выявлено две аномалии магнитного поля (± 20 и $+35$ нТл). Летом 1998 г. в районе аномалии $+35$ нТл проведены археологические раскопки. Контуры раскопа (глубина 1,2 м) представлены на карте. В ходе раскопок найдены осколки снаряда времен ВОВ, предметы, относящиеся к средневековью (два глиняных горшка и осколки женского украшения) и раннему железному веку (многочисленные обломки керамики и костяные рыболовные гарпуны) и др.

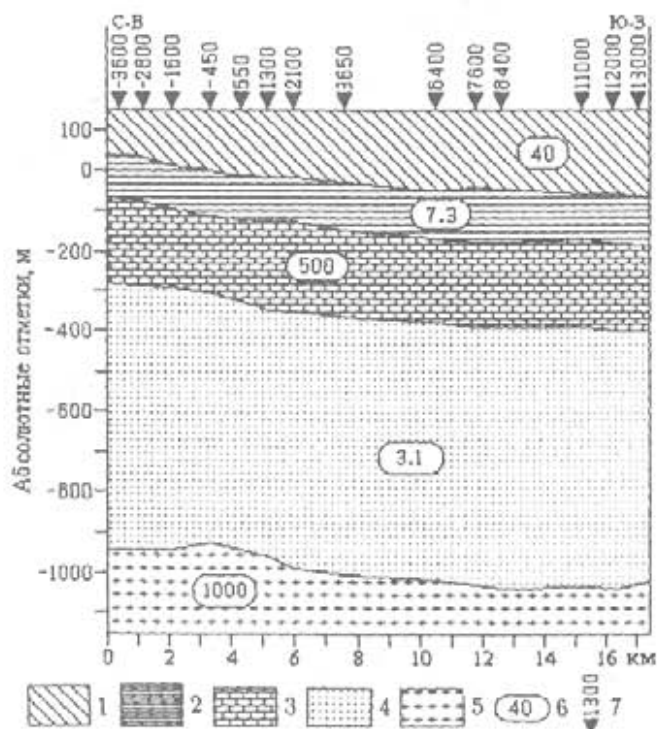


Рис. 4. Геоэлектрический разрез по профилю «д. Александровка—с. Беляево», построенный по данным всех методов ЭМЗ: 1 — нерасчлененная толща, Q—C₁; 2 — глины, C₁; 3 — известняки, D₂; 4 — пески, D₂; 5 — фундамент, Ar—Pr₁; 6 — удельное сопротивление; 7 — точки ЧЗ

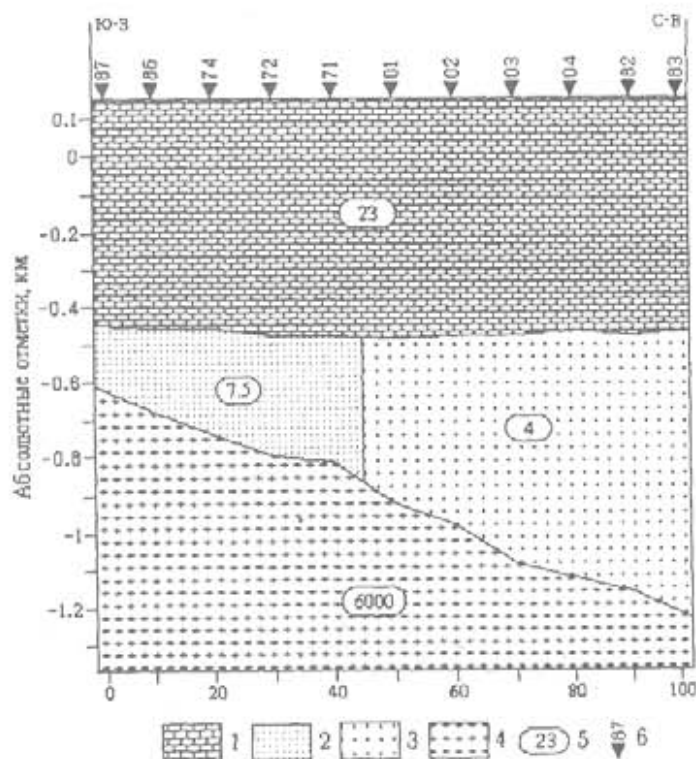


Рис. 5. Геоэлектрический разрез по профилю «Барятинно—Медный», построенный по данным МТЗ: 1 — известняки, глины, C₁—D₃; 2 — пески D₂; 3 — высокоминерализованные пески, D₂; 4 — фундамент, Ar—Pr₁; 5 — удельное сопротивление; 6 — точки МТЗ



Рис. 6. Карта аномального магнитного поля центральной части городища Жары

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский М.И., Дмитриев В.И. и др. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М., 1997.
2. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М., 1997.
3. Изучение геологического строения Восточно-Европейской платформы геофизическими методами / Неволин Н.В. и др. М., 1971.
4. Маслов В.Е. Юхнов. Краеведческо-исторический очерк. Калуга, 1995.
5. Соколов Б.А. Эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов. М., 1980.
6. Хмелевской В.К. Электроразведка. М., 1984.
7. Электроразведка методом сопротивлений / Под ред. В.К. Хмелевского и В.А. Шевнина. М., 1994.
8. Электроразведка. Справочник геофизика / Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. М., 1989.

Поступила в редакцию
03.12.98

Заключение. Замена специализированных учебных геофизических практик на учебно-производственные позволяет повысить уровень подготовки специалистов, да и вообще создает возможность проведения таких дорогостоящих практик. Они актуальны не только тем, что позволяют студентам, решая производственные задачи, изучить ряд геофизических методов, но и тем, что ставят научно-производственные проблемы для бакалаврских, дипломных и магистерских работ.

Безусловно, интересны практические результаты по накоплению и расширению площадной информации о геолого-геофизическом строении юго-западной части Московской синеклизы, имеющие выход на поиск полезных ископаемых, в том числе нефти и газа [5].