

*М. М. Филиппов, Ю. Е. Дейнес*

## **ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ КУПОЛЬНЫХ ШУНГИТОНОСНЫХ СТРУКТУР, ПЕРЕКРЫТЫХ КОРЕННЫМИ ПОРОДАМИ\***

### **Введение**

В работе М. М. Филиппова (наст. сб.) теоретически обосновано положение о том, что в центральной и северной частях Толвуйской структуры с высокой вероятностью возможно открытие новых залежей шунгитов и максовитов, по масштабам более крупных, чем известные Максовское и тем более Зажогинское месторождения. Для экспериментального подтверждения гипотезы в 2004 и 2005 гг. по наиболее перспективному участку «Тетюгино» были собраны геолого-геофизические материалы прошлых лет, а также были выполнены детальные геофизические наблюдения. Участок выбран на основании представлений о закономерностях формирования шунгитовых структур. Суть этого подхода заключается в том, что купольные структуры, сформированные по тому или иному горизонту, образуют семейство, основными параметрами которого являются расстояния между валами и соседними куполами, находящимися на одном валу. Для Толвуйской синклинали достаточно хорошо известно расположение валов, разведаны несколько залежей (Максовская, Зажогинская, Калейская), сформированных по шестому горизонту. Используя сведения о среднем расстоянии между соседними купольными структурами, находящимися на одном валу, можно определять наиболее вероятное положение центра неизвестной залежи.

В 1965–1966 гг. на участке «Тетюгино» Институтом геологии КарНЦ РАН были проведены работы по геологическому картированию с проходкой шурфов и канав, а также технологические испытания лидитов в качестве сырья для получения карбида кремния, кремния, теплоизоляционных огнеупоров и в качестве пробирного камня (Горлов и др., 1967). В 1972–1974 гг. Карельской поисково-съемочной экспедицией ПГО «Севзапгеология» на участке были пробурены скважины, в том числе скв. 19, вскрывшая на глубине 111,6–153 м Мельничную залежь максовитов и шунгитов, прогнозные ресурсы которой оценены в 10 млн. т; в 1985 г. была составлена геологическая карта Толвуйской синклинали масштаба 1 : 10 000 (Михайлов, Купряков, 1985). Содержание шунгитового вещества

в породах Мельничной залежи в среднем превышает 46%, многие пробы содержат его более 50%, максимальные значения достигают 55%. Породы имеют и другие характерные для диапировых структур генетические признаки, например, текстурные: среди массивных пород изредка встречаются обломки известняков и алевролитов подстилающих (вмещающих) пород – это краевая брекчия, а также обломки шунгита, т. е. скрытая брекчия, указывающие на активное перемещение (течение) осадочного материала и его дифференциацию по составу.

Участок расположен в центре Толвуйской синклинали структуры, которая входит в Онежский синклинорий как структура второго порядка. Синклиналь осложнена складками третьего и четвертого порядков, имеющими простирание, близкое к 330°. Со структурами четвертого порядка связаны все известные залежи максовитов. Это купольные, близкие к изометричным, антиклинальные складки со сложным внутренним строением, апикальные части которых сильно срезаны эрозией. Стратиграфически породы, слагающие эти структуры, относятся к второй пачке верхней подсвиты заонежской свиты (нижний протерозой). В пачке нижняя часть сложена туфами и горизонтами шунгитовых пород, верхняя часть – доломитами и алевролитами. Мощность горизонтов вне купольных структур не превышает 20 м, обычно – до 10 м.

В статье приведены сведения о геологии участка «Тетюгино», геофизические материалы, а также выполнен анализ собранных материалов и обосновано положение о том, что в пределах участка по шестому горизонту сформирована крупная складка нагнетания, апикальная часть которой сложена шунгитами и закрыта коренными породами второй пачки.

### **Геологическое строение участка «Тетюгино»**

По данным геолого-геофизического картирования и буровым скважинам (рис. 1–3), участок сложен породами второй пачки верхней подсвиты заонежской свиты людиковия (нижний протерозой). На участке обнажены лидиты на плоских или слабо выпуклых «бараньих лбах» или в виде уступов высотой 0,5–2 м. Это обособленные пласты мощностью до 6 м в верхних частях разрезов второй пачки, как правило, над

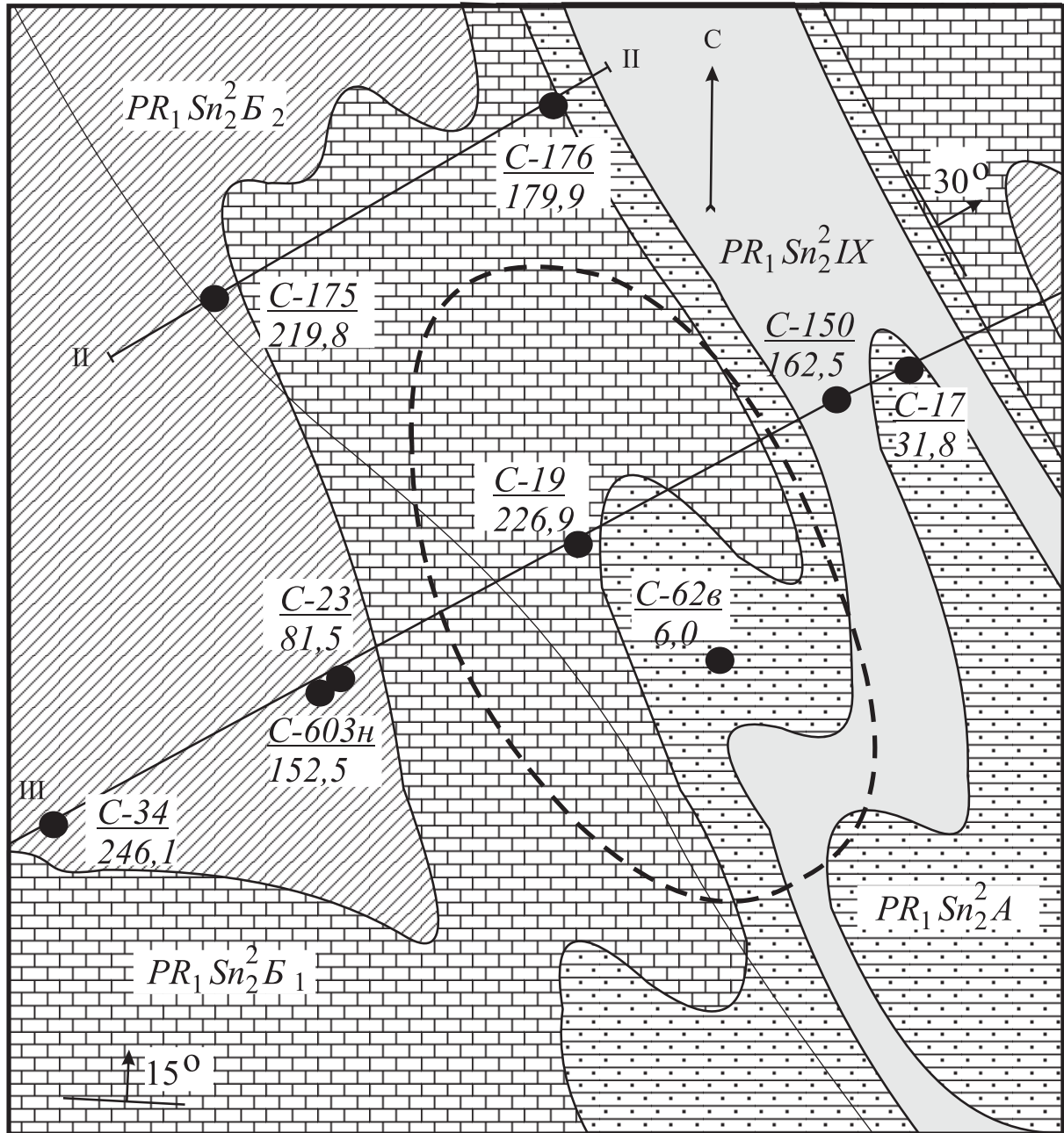
\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 05-05-97513.



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

**Рис. 1. Схематический план Тетюгинского участка (составлен В. И. Горловым, 1966 г.):**

1 – доломиты, 2 – известняки, 3 – шунгиты, шунгитовые сланцы, 4 – предполагаемые разломы, 5 – контуры естественных обнажений пород, 6 – предполагаемые границы пластов, 7 – каналы, 8 – шурфы, не вскрывшие коренных пород, 9 – шурф и его номер, 10 – место отбора технологической пробы, 11 – точка отбора пробы, 12 – триангуляционный пункт



0 100 200 м

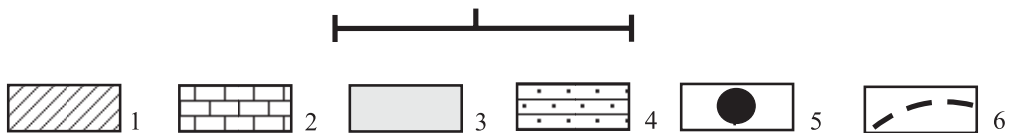
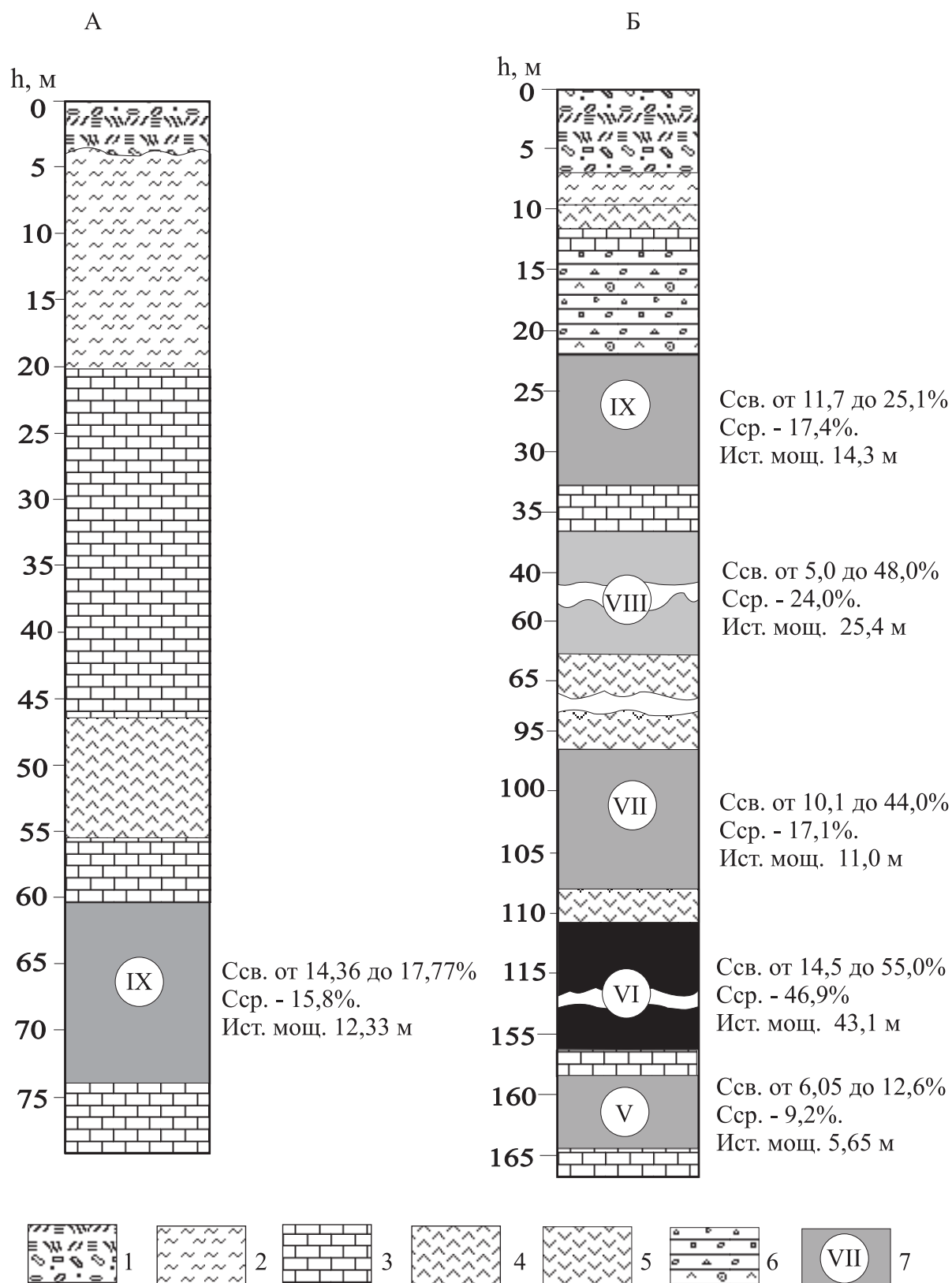


Рис. 2. Геологическая карта участка «Тетюино» (по С. В. Купрякову, В. П. Михайлову, 1985 г.):

1 – алевролиты; 2 – доломиты; 3 – девятый горизонт шунгитоносных пород; 4 – туфы алевритовые, карбонатные, альбито-кремнистые, лидиты; 5 – скважины, вскрывшие коренные породы; 6 – предполагаемый контур Мельничной залежи



**Рис. 3. Обобщенные литологические колонки буровых скважин № 23 (А) и № 19 (Б):**

1 – четвертичные отложения – супесь с обломками алевролитов, доломитов и шунгитонесных пород; 2 – алевролиты с редкими прослоями доломитов; 3 – доломиты с единичными прослоями алевролитов; 4 – литиды с прослоями доломита; 5 – габбро-долериты; 6 – крупнообломочная брекчия: обломки доломитов, литидов, реже алевролитов, цемент – шунгитовый и антраксолитовый; 7 – горизонты шунгитонесных пород, номер горизонта

девятым шунгитоносным горизонтом, входящие в лидит-шунгит-доломитовый комплекс, установленный во многих пунктах Карелии, в частности, впервые исследованный на Шуньгском месторождении. На участке по разные стороны дороги Толвуя – Великая Губа известны два основных выхода лидитов (рис. 1): северо-восточный с размерами 150 × 80 м и юго-западный – 160 × 20 м. Углы падения слоя лидитов от 10 до 25°. Кроме того, на участке есть и другие, более мелкие выходы лидитов, главным образом, в его восточной части. Контакты лидитов с вмещающими породами весьма резкие, лишенные постепенных переходов. Доломиты, входящие в лидит-шунгит-доломитовый комплекс, представлены в виде ненарушенных и будинированных пластов. Будины в лидитах имеют линзовидную и округлую форму, напоминая местами крупные валуны, их размеры до 1 м в диаметре. Границы будин четкие, резкие, без постепенных переходов. Туфопесчаники, туфоалевролиты, алевролиты и сланцы слагают значительную часть разрезов верхней подсветы, они приурочены к подошве шунгитоносных горизонтов.

По В. И. Горлову и др. (1967), данные изучения обнажений и горных выработок позволяют представить разрез верхней части участка следующим образом (сверху – вниз): темно-серые массивные среднезернистые доломиты (7–8 м); лидиты с редкими будинами доломитов (5–6 м); темно-серые массивные доломиты (1,5–2 м); максовиты слабо брекчированные (8–10 м). В структурном плане участок в 1967 г. представлен как две антиклинальные складки: северо-восточная часть – брахиантиклиналь, вытянутая на северо-запад (310–320°) с падением крыльев от 7 до 15, местами до 35°, в ее ядре пласт лидитов; юго-западная часть участка – пологая антиклинальная складка, замыкающаяся на юге и открытая к северу. Канавой № 1 в северной части участка обнаружены очевидные признаки разлома (рис. 4): брекчированные доломиты и лидиты. В современном рельефе зона разлома фиксируется узкой ложбиной, канава № 1 пройдена в ее юго-западном борту (Горлов и др., 1967). В северо-восточном краю канавы на интервале 0,0–2,0 м выходят черные доломиты интенсивно брекчированные, простирание СЗ 330°, падение СВ 58°; интервал 2,0–2,5 м – конгломераты черных доломитов, сцементированные шунгитом и антраксолитом, присутствуют борозды скольжения; интервал 2,5–3,7 м – лидиты черные, афанитовые, с раковистым изломом, простирание СВ 65°, падение ЮВ 70°, контакт с доломитами резкий; интервал 3,7–6,4 м – чередование лидитовых брекчий, лидитов, шунгитов, обломки брекчий сцементированы антраксолитом; интервал 6,4–7,35 м – темно-серые доломиты, неслоистые, среднезернистые, трещиноватые.

По данным бурения (рис. 3) видно, что лидиты естественных обнажений участка совместно с доломитами залегают непосредственно над девятым шунгитоносным горизонтом (см. разрез по скв. 23, которая находится вне зоны влияния разломов). Сопоставление разрезов по скв. 19 и 23 показывает, что в скв. 19 на глубине 11,6–22,1 м вскрыта крупнообломочная брекчия доломитов, лидитов, алевролитов, сцементированная шунгитом, т. е. стратиграфический уровень, к которому приурочены лидиты и будинированные

прослой доломитов естественных обнажений, в скважине приходится на зону тектонического нарушения.

На карте В. И. Горлова (рис. 1) в северо-восточной части участка проведены два разлома, при этом если для первого из них, имеющего простирание СЗ 320°, обоснованность хорошая (ложбина, брекчии канавы № 1), то оснований для проведения второго разлома в те годы практически не было. Интересно, что на геологической карте (1988 г.) Карельской экспедиции (рис. 2) линии разломов вообще отсутствуют. Вероятно, материалы прежних исследований не были убедительными для авторов работы (Михайлов, Купряков, 1985), хотя уже к 1974 г. появились дополнительные признаки разломной тектоники (скв. 19). Тем не менее геологическое строение участка представлено (рис. 2) как элемент крупной антиклинальной складки, погружающейся в северо-западном направлении под углом около 15° и осложненной двумя антиклинальными складками.

Необходимо обратить внимание на то, что на небольшом интервале в северо-восточной части участка азимуты простирания и азимуты падения слоев резко меняются, подобные изменения зафиксированы и в целом по участку. На геологических картах прошлых лет это объясняется развитием брахиформ и ундуляцией шарниров складок. Однако если принять, что на участке отсутствуют мелкие складки, то наблюдаемые зоны брекчирования пород и контрасты в элементах залегания слоев могут быть следствием проявления разломов, т. е. модель строения участка должна быть блоковой. Для сбора дополнительной информации о геологическом строении участка были привлечены материалы геофизических наблюдений, полученные в 2004 и 2005 гг.

### Исследование участка геофизическими методами

В 1965 г. лабораторией геофизики Института геологии КФ АН СССР участок исследовали методами электро-, магнито- и сейсморазведки. К сожалению, материалы исследований не сохранились, известно лишь, что по ним был сделан вывод о низкой эффективности комплекса методов (Горлов и др., 1967). В 1974–1976 гг. на этапе предварительных поисково-разведочных работ Карельской экспедицией получены материалы методами электроразведки и магнито-разведки. Масштаб съемки был выбран 1 : 50 000, поэтому по участку прошел лишь один геофизический профиль, который не позволил существенно уточнить геологическое строение участка. В целом был сделан вывод о низкой эффективности геофизических методов разведки при поисках залежей максовитов (Купряков, Михайлов, 1974).

В 2004–2005 гг. выполнена детальная геофизическая съемка участка\*. Использован метод естественных электрических потенциалов (ЕП), электропрофилерование в модификации срединного градиента (СГ), методы электроразведки выполнены аппаратурой «Эра». Магниторазведка в режиме измерения полного

\* В полевых работах и при технической обработке материалов помимо авторов статьи принимали участие А. В. Суханов, А. Е. Ромашкин; большую помощь в получении первичных материалов оказали студенты-геофизики геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

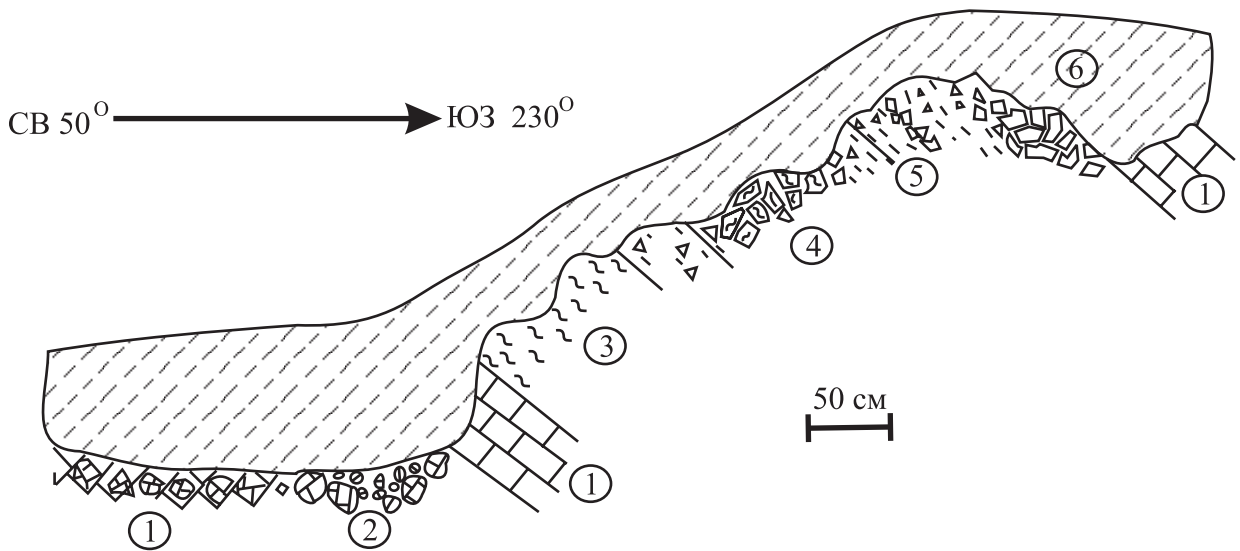


Рис. 4. Зарисовка канавы № 1 (по В. И. Горлову, 1966 г.):

1 – черные выветрелые доломиты; 2 – доломитовые конгломераты, цемент шунгитовый; 3 – лидиты; 4 – лидитовые брекчии, цемент – шунгит, антракосилит; 5 – шунгит с редкими обломками лидитов; 6 – супесь с валунами

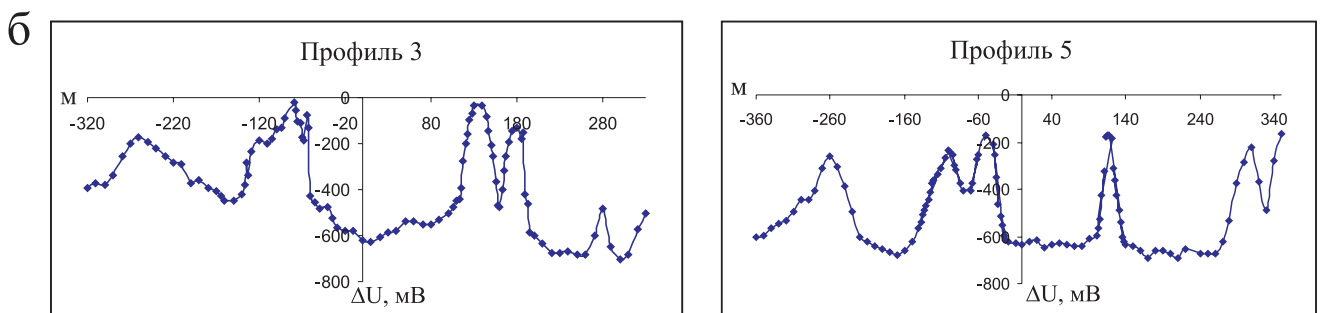
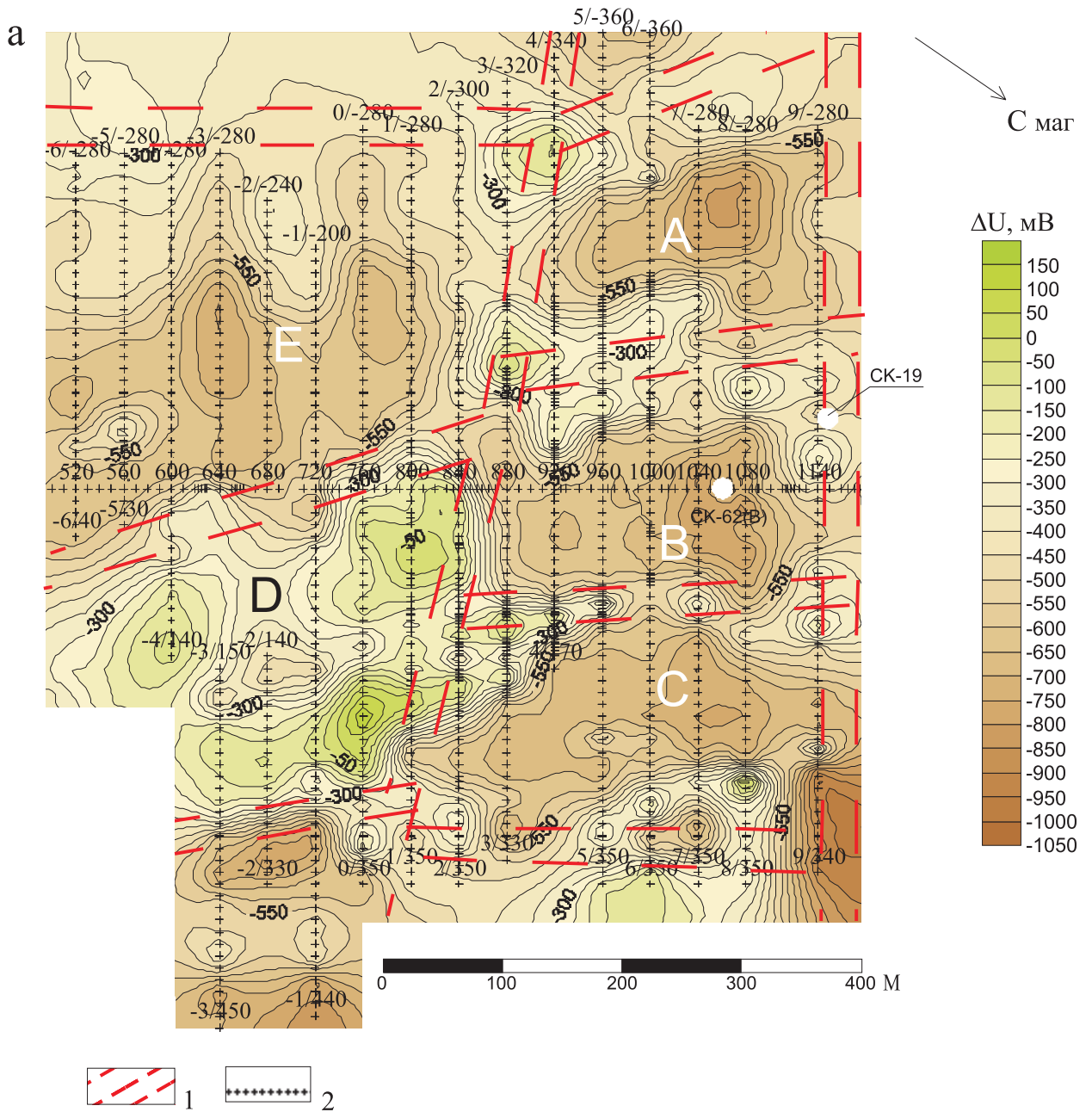
вектора магнитного поля ( $\Delta T$ ), аппаратура ММП-203; гамма-метод – измерение мощности экспозиционной дозы естественного гамма-излучения (ГМ), аппаратура СРП-88. Схема наблюдений (рис. 5, а) включает магистраль и 16 профилей. Расстояние между профилями 40 м. Съемка методом ЕП проводилась по всем профилям и магистрали с шагом измерений 10 м. По результатам измерений методом ЕП построен план изолиний потенциала ЕП (рис. 5, а). Низкочастотная электроразведка (СГ) проведена по отдельным профилям с шагом измерений  $MN = 10$  м и со смещением питающей линии АВ по профилю с шагом 20 м. В результате получены данные, позволившие вести обработку с использованием как типичных для метода СГ приемов, так и новых, аналогом которых служат известные в геоэлектрическом зондировании способы обработки информации. Для комплексной обработки данных использовались программы Profiler®, разработанные А. Е. Каминским (С.-Петербургский госуниверситет). Характерные электрические разрезы участка приведены на рис. 6. Магнитная съемка также проводилась в полном объеме с шагом измерений 10 м. По результатам измерений построен план изолиний напряженности магнитного поля  $\Delta T$  (рис. 7).

Контрастность физических свойств шунгитоносных пород с аномальными содержаниями углерода по сравнению с вмещающими породами является достаточным основанием для использования геофизических методов при картировании и изучении шунгитоносных структур. Выбор методов определялся рядом условий, связанных с особенностями концентрирования шунгитового вещества в породах заонежской свиты (известная зональность распределения шунгитового вещества в купольных залежах максовитов, присутствие перекрывающих отложений четвертичного возраста различной мощности, широкое развитие габбро-долеритов, которые характеризуются по отношению к максовитам избыточной плотностью и намагниченностью). Таким образом, комплекс геофизических методов был выбран с учетом необходимости

выявления пород с различной концентрацией шунгитового вещества под четвертичными отложениями.

Наиболее контрастным свойством является электропроводность. Разница в электропроводности, например, габбро-долеритов и максовитов с концентрацией шунгитового вещества, не превышающей 20%, достигает нескольких порядков. На уровне эрозийного среза электроразведочные методы дают надежный поисковый эффект, если электрическое сопротивление пород отличается на один порядок. Поэтому при небольшой мощности осадков, не превышающей первые метры, электрический метод эффективен и на закрытых участках. Высокая электрическая проводимость шунгитового вещества и его электрохимические свойства обеспечивают появление над шунгитоносными породами отрицательных потенциалов естественного электрического поля (ЕП), которые достигают  $-1000$  мВ. Наблюдаемые над шунгитоносными породами аномалии ЕП по знаку и интенсивности подобны полям электрохимического происхождения (Семенов, 1980). Ранее была установлена эмпирическая связь между  $\Delta U$  и содержанием в породах шунгитового вещества (Филиппов, Клабуков, 2002). Недостатком электрических методов является невозможность надежного расчленения шунгитоносной толщи по глубине, так как электрическое поле, как правило, формируется в верхнем слое. Геологическое строение участка «Тетюгино» и малая мощность четвертичных отложений позволяли надеяться на высокую эффективность методов электроразведки.

Зоны развития основных вулканитов обычно хорошо выделяются в магнитных полях интенсивными положительными аномалиями. В то же время над пластами шунгитоносных пород, в связи с диамагнитностью шунгитового вещества, интенсивность магнитного поля снижается. Поскольку пласты шунгитоносных пород часто находятся в контакте с основными породами или перекрываются ими, интенсивность наблюдаемого магнитного поля может сложным образом варьировать, что обычно затрудняет интерпре-



**Рис. 5. Результаты измерений потенциалов естественного электрического поля участка «Тетюгино»:**

а – план изолиний: 1 – зоны предполагаемых разломов, 2 – профиль; б – графики

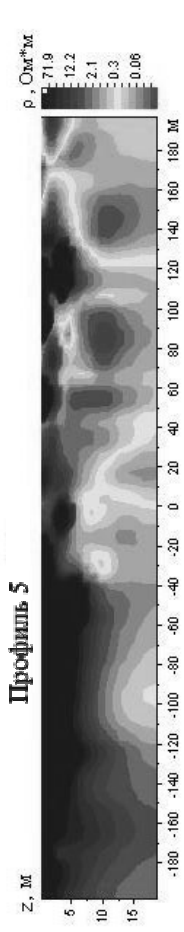
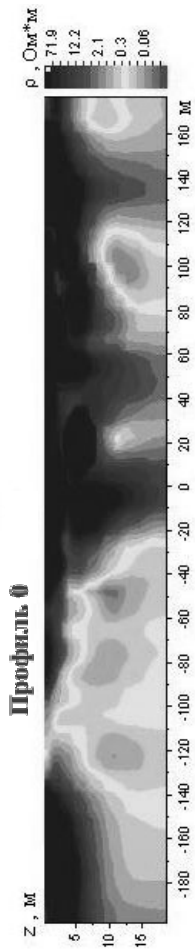


Рис. 6. Геоэлектрические разрезы участка «Тетюгино»

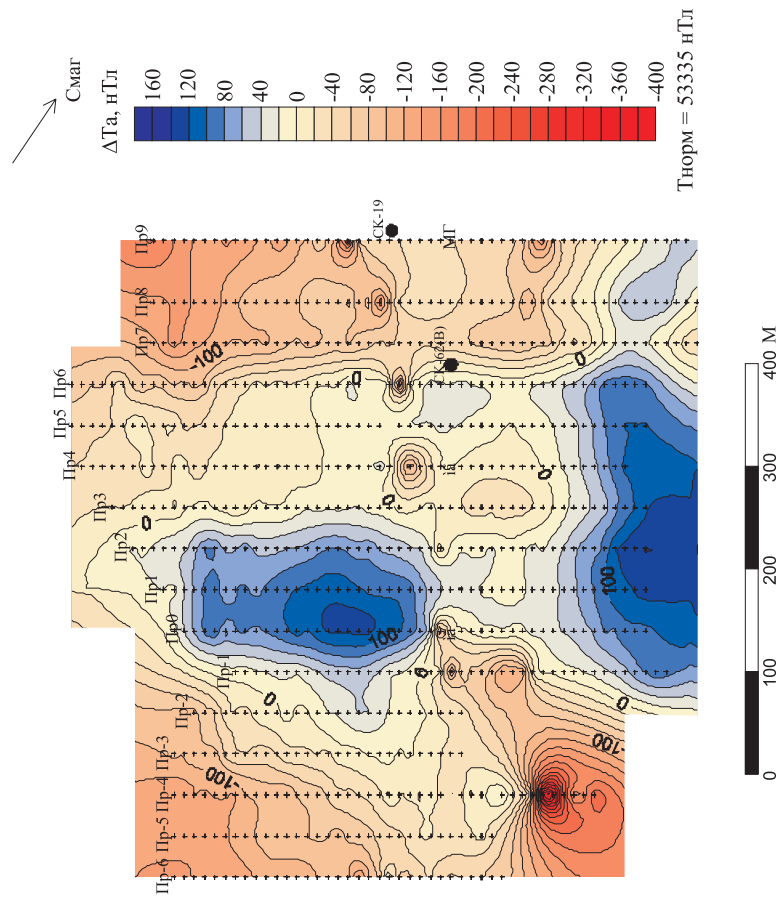


Рис. 7. План изолиний аномального магнитного поля участка «Тетюгино»

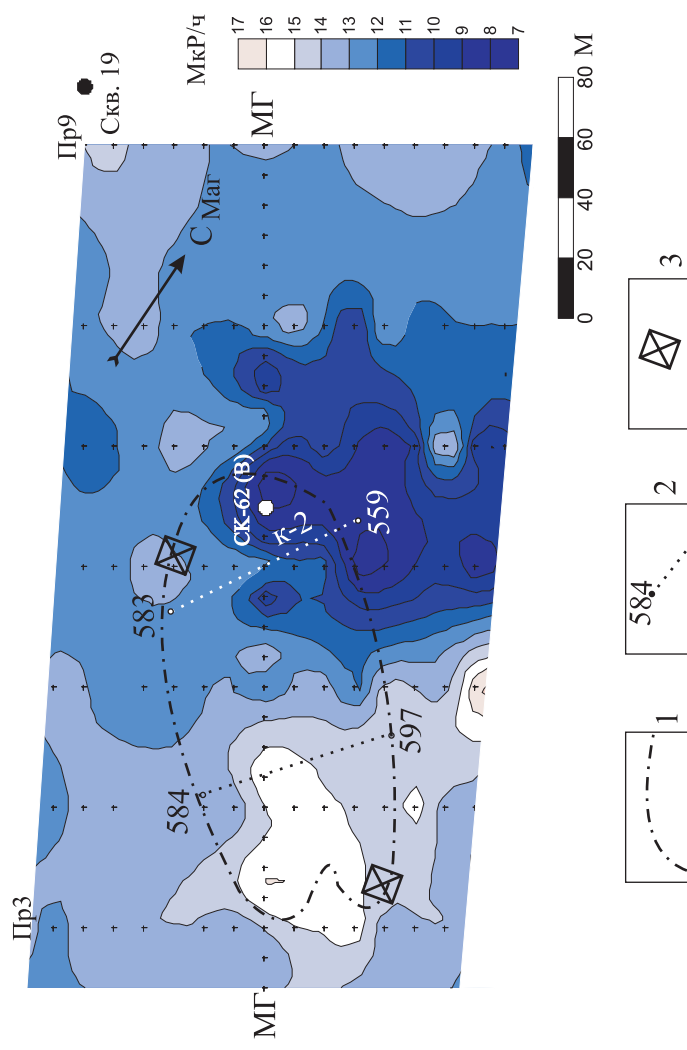


Рис. 8. План изолиний мощности естественного гамма-излучения блока «Б»: 1 – контур естественного облучения литов (В. И. Горлов, 1966); 2 – местоположение точек опробования и номера штуфных проб; 3 – место отбора технологических проб



тацию данных. Практика показывает, что купольные структуры, сложенные максовитами, при их большой мощности проявляются в виде понижений магнитного поля при его оптимальном сглаживании (Филиппов, Клабуков, 2002). При интерпретации данных магнитотразведки следует учитывать закрытость участка, возможное появление сульфидов в шунгитоносных породах, обуглероженность вулканитов, ведущую к изменению их магнитных свойств. Именно по этим причинам в ряде случаев появляется неоднозначность в истолковании результатов съемки и требуется привлечение других методов.

### Обсуждение результатов эксперимента

На плане изолиний ЕП (рис. 5, а) видны несколько обособленных участков с относительно низкими потенциалами, между которыми наблюдаются близкие к линейным зоны относительно высоких значений  $\Delta U$ . Учитывая известные геологические сведения о разрывной тектонике участка, можно предположить, что участок состоит из отдельных блоков, разделенных разломами. Границы блоков могут быть уверенно проведены по очень высоким градиентам поля (рис. 5, б). На рис. 5, а указаны предполагаемые границы блоков и тектонические зоны, разделяющие их; блоки обозначены буквами «А», «В», «С», «D», «Е».

Блоковая модель строения верхней части разреза подтверждается геоэлектрическими разрезами (рис. 6)\*. Известно, что метод СГ эффективен на разрезах с высокоомными породами. Опытно-методические работы по изучению разрезов Максовского месторождения и участка «Мироновская залежь» с проводящими (шунгитоносными) породами, выполненные с участием А. Е. Каминского, автора новой методики обработки данных СГ, показали, что в таких сложных условиях возможны искажения, связанные с низкими удельными сопротивлениями пород и, как следствие, с эффектами экранирования поля.

Данные магнитотразведки (рис. 7) не противоречат выводу о блоковом строении участка, хотя по ним провести границы блоков более сложно. Малая эффективность метода обусловлена, вероятно, тем, что верхняя часть разреза сложена преимущественно лидитами и доломитами, которые, как и максовиты, являются диамагнетиками. К сожалению, на результаты магнитометрии оказали также влияние часто встречаемые на этом полигоне железные предметы, явные и скрытые, особенно в юго-восточном углу планшета, где расположен животноводческий комплекс\*\*.

Гамма-метод дает в целом сглаженную картину, поскольку результаты сильно зависят от мощности перекрывающих отложений, а доломиты и породы шунгитоносных горизонтов закрыты рыхлыми, в ряде мест глинистыми, отложениями. Тем не менее там, где породы обнажены или мощность четвертичных отложений мала, интерпретация гамма-съемки дает весьма важные сведения для понимания геологического строения

участка. Рассмотрим рис. 8, на котором показано распределение гамма-активности в пределах блока «В» с нанесенными контурами естественного обнажения лидитов и местоположением отобранных проб. Содержание естественных радиоактивных элементов – U, Th, K – в лидитах соответственно равно 13 г/т, <1 г/т, 0,09%, а в будинированных доломитах – 44, <1 и 0,03% (Melezhik et al., 2004). Поскольку гамма-метод обладает определенной глубиной, зависящей от типа исследуемой породы, то наблюдаемую в пределах блока «В» дифференциацию гамма-поля легко объяснить тем, что в его юго-восточной части мощность лидитов мала (менее 0,5 м), и активность определяется преимущественно не выходящими на поверхность доломитами\*.

По данным опробования, состав лидитов существенно колеблется (табл.) даже в пределах одного обнажения. Отметим, что вариации состава проб, отобранных в канаве № 22, пройденной в субширотном направлении, меньше по сравнению с вариациями состава между выборками 1 и 2. Следовательно, северо-западная и юго-восточная части блока «В», скорее всего, представляют собой лидиты, находящиеся на разных стратиграфических уровнях. Добавим, что в юго-восточной части этого блока при отборе технологической пробы вскрыты лидиты с будинами доломитов, а в его северо-западной части аналогичная выемка их не вскрыла. Таким образом, можно предположить, что блок «В» развернут на некоторый угол в северо-западном направлении. Этот вывод подтверждается и другими геофизическими данными. На плане изолиний ЕП (рис. 5, а) в северо-западной части блока «В» фиксируются породы с относительно более высоким содержанием шунгитового вещества и, вероятно, с большей мощностью, т. е. лидиты (в лидитах – около 3%, в доломитах – около 1%), а породы с меньшим его содержанием, представленные частично и лидитами, и доломитами, имеют низкие значения потенциалов.

Содержание петрогенных элементов в лидитах блока «В» и «Е»

Выборка, номер проб	Параметр	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	ппп
1, 559–583	X	95,60	0,25	0,26	0,24	2,91
	σ	0,89	0,29	0,15	0,13	0,64
2, 584–595	X	95,59	0,53	0,32	0,20	2,99
	σ	0,38	0,30	0,11	0,03	0,41
3, 598–599	X	95,57	0,36	0,26	0,21	3,19
4, 600–602	X	95,42	0,68	0,42	0,32	4,64
	σ	2,85	0,19	0,08	0,03	0,84

Примечание. X – средние значения, σ – стандартное отклонение, ппп – потери при прокаливании. Анализ выполнен в химической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН в 1966 г.

По характеру распределения потенциалов ЕП блоки «А» и «С» близки блоку «В». Только на этом основании можно предполагать, что блок «А» развернут в северо-западном, а блок «С» – в северо-восточном направлении.

\* Необходимо отметить, что в лидитах, а тем более в доломитах содержание урана необычно высокое для хемогенных пород. Правда, будинированные доломиты Шунгского месторождения также содержат от 23 до 79 г/т урана (Melezhik et al., 2004). Не анализируя природу этой геохимической аномалии, скажем только, что этот факт – весьма важное свидетельство родственности генезиса Шунгского месторождения и верхней части Мельничной залежи.

\* Следует учитывать, что в методе СГ из-за эффектов экранирования возможно неточное отображение углов залегания пород, а мощность шунгитоносных горизонтов может быть завышена.

\*\* Именно по этой причине юго-восточная часть намеченного участка осталась не изученной и другими методами.

Другое обнажение лидитов (блок «Е») по рисунку поля ЕП отличается от блоков «А», «В», «С» выраженным линейным характером трех зон, из которых северная и южная зоны фиксируют коренные породы с относительно более высоким содержанием шунгитового вещества. По В. И. Горлову и др. (1967) (см. рис. 1), это максовиты и лидиты. Несмотря на очевидный контраст этих пород в содержании шунгитового вещества, близость амплитуд ЕП в этих зонах можно объяснить тем, что лидиты, имея его малое содержание, выходят на поверхность, а максовиты перекрыты ледниковыми отложениями мощностью до 2,5 м. Между лидитами и максовитами, по В. И. Горлову, должны залегать доломиты, которые в поле ЕП отмечаются пониженными значениями потенциала. Можно констатировать, что в этой части участка действительно находится обособленный блок, а не антиклинальная складка, тем более развернутая в юго-восточном направлении. В гамма-поле блок «Е» картируется как область относительно более активная, что может указывать на то, что здесь вскрыт другой стратиграфический уровень лидитов, которые должны отличаться, вероятно, более высоким содержанием первично-глинистого материала. Действительно, по данным опробования лидитов двух блоков, это предположение подтверждается (табл.), например, более высоким содержанием в лидитах блока «Е»  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $H_2O$  и ппп, которые входят в основном в слюды. Наблюдаемую картину распределения геофизических полей в пределах блока и данные проходки шурфов можно объяснить тем, что блок развернут в пространстве в западном – юго-западном направлении; мощность лидитов здесь существенно меньше, чем в блоке «В», максовиты представляют собой кровлю девятого шунгитоносного горизонта. Угол поворота в пространстве блока, вероятно, не больше, чем блока «В», выход же под четвертичные отложения максовитов здесь возможен потому, что из-за общего погружения оси Толвуйской структуры в северо-западном направлении блок более глубоко срезан эрозией.

Блок «D» существенно отличается от всех остальных блоков тем, что в его пределах потенциалы ЕП имеют положительные значения, гамма-активность составляет 15–16 мкР/час, методом СГ (рис. 6) именно здесь выделяется область низких сопротивлений, мощность четвертичных отложений достигает 5 м, в рельефе это относительное понижение.

Обратим внимание на то, что скв. 19 пересекла зону брекчирования на глубине 11,6 м, до этого интервала в скважине признаки разломной тектоники отсутствуют. Следовательно, разлом не вертикальный, его вероятное падение – северо-западное, если отождествить зону брекчирования с субширотным разломом, и северо-восточное – если скважина пересекла субмеридиональный разлом. В любом случае геофизические данные не противоречат материалам бурения. Таким образом, можно констатировать, что на участке существуют прямые и косвенные указания на разрывную тектонику, плоскости смещения блоков, вероятно, не вертикальные, их азимуты падения существенно отличаются. Справедливо задать вопрос – не является ли локальная блоковая тектоника участка следствием развития купольной структуры? Можно ли найти еще дополнительные указания на существование крупного тела максовитов и шунгитов?

В научной литературе описаны многочисленные результаты физического моделирования соляных купольных структур, не выходящих на поверхность, т. е. перекрытых осадочными породами разного состава и реологических свойств, в том числе не способных к пластическим деформациям. Полевые наблюдения и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в этих случаях над куполом формируется сложная картина деформации покровышки (Davison et al., 1993), зависящая от формы купольного тела. Протяженное тело образует в покровышке гребневидный горст, обрамленный двумя симметричными грабенами. На периферии могут появиться грабены, развернутые в пространстве вплоть до обратного залегания слоев. По разломам, падающим в сторону центра купола, грабены развернуты относительно этого центра в разные стороны до  $100^\circ$ . Ширина зоны разломов в 2–3 раза больше, чем ширина линейного диапирового тела. Симметричное купольное тело формирует концентрические разломы, падающие также к центру купола. В сводовом горсте в обоих случаях перекрывающие породы не деформированы, их горизонтальное залегание сохраняется. В грабенах горизонтальное залегание слоев всегда нарушено, слои сильно деформированы. Характерные для диапировых структур краевые синклинали в совокупности с краевыми разломами покровышки создают необычное геологическое строение участка – с нарушенной стратиграфической последовательностью отложений. В естественных условиях подобные зоны разломов очень сложны для картирования геофизическими методами. Так, малая эффективность сейсморазведки обусловлена многочисленными крутопадающими слабо отражающими границами.

Итак, данные моделирования купольных структур и материалы исследования показывают, что выявленное блоковое строение участка «Тетюгино» является следствием развития здесь диапирового тела. Вероятно, блок «D» можно отождествить с центральным горстом, выдвинутым при формировании купола относительно соседних блоков так, что на уровне эрозионного среза оказались доломиты, перекрывающие девятый шунгитоносный горизонт. Доломиты в гипергенных условиях разрушались, конечно, более быстро, чем лидиты, поэтому горст в современном рельефе совпадает с относительным его понижением. Положительные значения потенциалов ЕП в пределах блока могут указывать на то, что слой доломитов, перекрывающий девятый горизонт, до конца не разрушен и служит некоторым экраном, не позволившим проявиться здесь даже породам девятого горизонта.

В качестве дополнительных признаков нахождения купольного тела, апикальная часть которого расположена близко к поверхности, могут служить характерные особенности брекчий лидитов и доломитов, вскрытые скв. 19 и канавой № 1. Цемент брекчий, метаколлоидное вещество (шунгит) и углеводороды (антраксолит), указывает на то, что дифференциация первичного органического и органоминерального вещества достигла своего предельного значения, характерного для субпластовых тел шунгитового типа (диапировых шляп), и должна также проявляться в апикальных частях купольных диапировых структур.

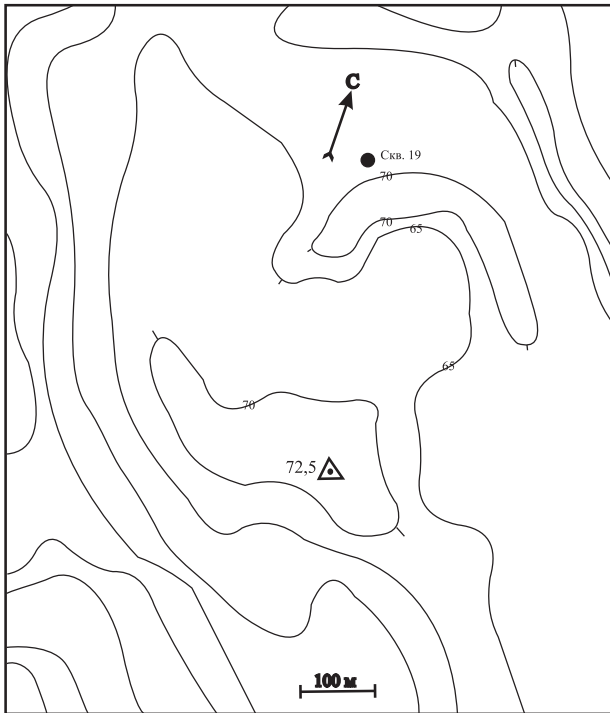


Рис. 9. Рельеф участка «Тетюгино». Горизонтали через 5 м

Крупное купольное тело диапирового типа должно обрамляться краевой синклиналью. На Максовском месторождении краевая синклиналь выражена неясно в современном рельефе, поскольку залежь срезана эрозией. На исследуемом участке благодаря малой мощности четвертичных отложений геоморфологический признак просматривается уверенно. На рис. 9 показан план изолиний участка. Несмотря на проходящую по участку автомобильную дорогу, которая, естественно, сопровождалась землеустроительными работами, весьма четко проявляется локальная область повышенных отметок, вытянутая в северо-западном направлении. Центр этой области приходится примерно на пересечение геофизического профиля № 2 с магистралью.

Модель строения участка «Тетюгино», учитывающая все приведенные в статье сведения, показана на рис. 10. Авторы статьи полагают, что выявленных признаков достаточно для заложения буровой скважины, которая должна подтвердить выдвинутую гипотезу о вероятном присутствии в центре Толвуйской синклинали крупных залежей шунгитов. Обратим внимание на то, что скв. 19 пересекает тело высокоим для периферийных частей известных куполов содержанием шунгитового вещества. Естественно возникает вопрос, не является ли это указанием на то, что залежь имеет тип зональности в распределении шунгитового вещества, отличающийся от

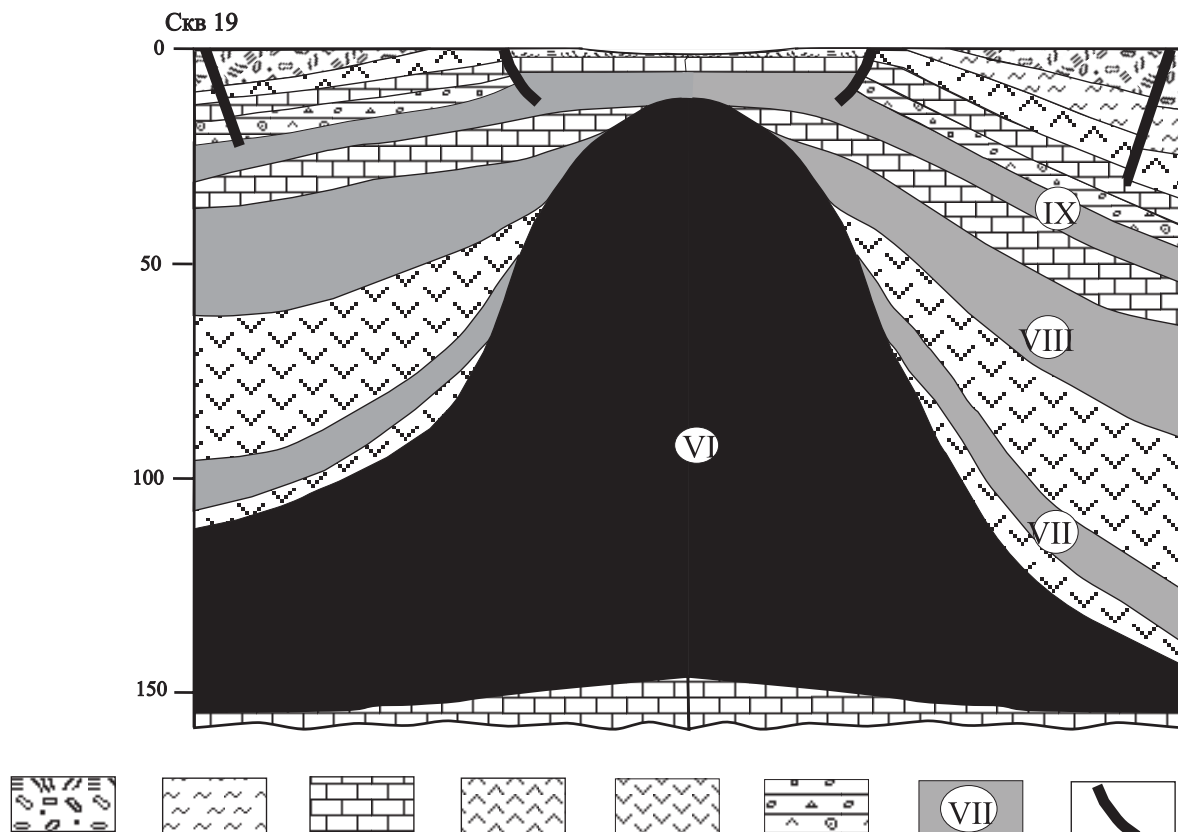


Рис. 10. Модель геологического строения Мельничной залежи шунгитов:

1 – четвертичные отложения – супесь с обломками алевролитов, доломитов и шунгитоносных пород; 2 – алевролиты с редкими прослоями доломитов; 3 – доломиты с единичными прослоями алевролитов; 4 – литиды с прослоями доломита; 5 – габбро-долериты; 6 – крупнообломочная брекчия: обломки доломитов, литидов, реже алевролитов, цемент – шунгитовый и антраксолитовый; 7 – горизонты шунгитоносных пород, номер горизонта; 8 – разломы

типа Максовского месторождения. Это может быть связано как с фаціальными особенностями исходных осадков (в центре Толвуйской структуры осадки могли иметь более высокие концентрации органического вещества и органо-глин по сравнению с участками структуры, где располагаются известные месторождения максовитов), так и с тем, что исходная мощность шестого горизонта здесь могла быть значительно больше.

### Выводы

Купольные шунгитоносные структуры, не выходящие на уровень эрозионного среза, должны иметь ряд характерных поисковых признаков – структурных, литологических, геофизических и геохимических.

1. Перекрывающие породы, первоначально не содержащие в больших количествах органическое вещество, при формировании купола испытывают хрупкие деформации, в результате чего над куполами развивается горсто-грабеновая локальная тектоника; размеры отдельных блоков существенно меньше размеров купола, блоки смещены относительно друг друга по вертикали и развернуты на некоторый угол относительно оси купольного тела, причем азимуты поворота диаметрально противоположных (относительно оси купола) блоков отличаются примерно на 180°; между блоками развиты зоны брекчированных пород, в которых роль цемента выполняет метаколлоидное минеральное вещество (шунгит) или высший антракосолит; сочетание указанных особенностей на относительно небольших по площади участках затрудняет их картирование и создание модели геологического строения.

2. Характерные особенности геологии надкупольных участков уверенно выявляются геофизическими методами; для этой цели в качестве основного может применяться метод естественных электрических потенциалов, или электропрофилеирование, при благоприятных условиях блоковое строение участка хорошо подчеркивается методом срединного градиента; в ряде случаев дополнительную информацию о блоковом строении участка несет гамма-метод; если в разрезе наряду с высокоуглеродистыми большую долю занимают карбонатные породы и лидиты (диамагнетитики), то магниторазведка практически не дает дополнительной информации о строении участка.

3. Положение центра купольной структуры может быть определено, во-первых, путем изучения азимутов поворота отдельных блоков локальной надкупольной тектоники, во-вторых, по геоморфологическим признакам – если центральный горст выводит на уровень эрозионного среза карбонатные породы, которые имеют относительно меньшую стойкость к выветриванию по сравнению с лидитами или другими породами второй пачки, то в современном рельефе это область относительного понижения рельефа.

4. Участок «Тетюгино» может рассматриваться в качестве потенциального полигона для исследования геофизическими методами и буровыми скважинами диапировых структур, в которых питающий горизонт представлен органо-кремнистыми и органо-глинистыми осадками с исходно высокими концентрациями органического вещества.

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность Р. С. Моториной за огромную работу по оформлению рукописи.

### ЛИТЕРАТУРА

Горлов В. И., Калинин Ю. К., Иванова И. Е. Разработка технологии и геологическое изучение шунгитовых пород как комплексного сырья: Отчет по теме № 30. Петрозаводск, 1967. 243 с. // Фонды КарНЦ РАН.

Куряков С. В., Михайлов В. П. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на шунгитовые породы, проведенных на Зажогинском и Фоймогубском участках в 1972–1974 гг. Петрозаводск, 1974. 150 с. // Фонды ККГРЭ, ПГО «Севзапгеология».

Михайлов В. П., Куряков С. В. Отчет о результатах детальной разведки юго-восточной (Максовской) залежи Зажогинского месторождения шунгитовых пород за 1982–1985 гг. Петрозаводск, 1985. 138 с. // Фонды ККГРЭ, ПГО «Севзапгеология».

Семенов А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., 1980. 446 с.

Филиппов М. М., Клабуков Б. Н. Принципы выявления центров купольных шунгитоносных структур Толвуйской синклинали по геофизическим данным // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск, 2002. С. 97–106.

Davison I., Insley M., Harper M. et al. Physical modeling of overburden deformation around salt diapirs // Tectonophysics. 1993. Vol. 228. P. 255–274.

Melezhik V. A., Filippov M. M., Romashkin A. E. A giant Palaeoproterozoic deposit of shungite in NW Russia // Ore geology reviews. V. 24 (2004). P. 135–154.