

**Н. Н. Зинчук**, д-р геол.-минерал. наук, проф., акад. АН РС (Я),  
председатель Западно-Якутского научного центра Академии наук  
Республики Саха (Якутия), г. Мирный, nnzinchuk@rambler.ru,  
**М. Н. Зинчук**, научный сотрудник (Западно-Якутский научный центр  
Академии наук Республики Саха (Якутия)), г. Мирный, nnzinchuk@rambler.ru

## ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КИМБЕРЛИТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ ПОРОД ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*В результате проведённых исследований было выявлено, что величины удельного электрического сопротивления, плотностных и упругих свойств, магнитной восприимчивости и других петрофизических параметров перекрывающих, вмещающих терригенных пород венда и кимберлитов Золотицкого поля Восточно-Европейской платформы в диапазоне частот электромагнитного поля от постоянного тока до 40 МГц размещаются в достаточно широких предельных интервалах. В целом рудоносные кимберлитовые объекты и вмещающие их осадочные породы на уровне изученных верхних горизонтов достаточно контрастно дифференцируются по петрофизическим свойствам, позволяющим проводить поисковые работы на алмазы геолого-геофизическими методами разной модификации.*

**Ключевые слова:** Восточно-Европейская платформа, Золотицкое поле, кимберлиты, вмещающие и перекрывающие породы, петрофизические особенности.

Несмотря на то, что первые сведения о трубчатых телах ультраосновного состава на севере Восточно-Европейской платформы (ВЕП) появились в середине прошлого столетия, настоящие трубки взрыва кимберлитов были открыты здесь позже, только в 80-х годах [5–9]. Сначала они были открыты в Зимнебережном районе Архангельской алмазонной провинции (ААП), расположенном в 100–140 км к северо-востоку от Архангельска и разделённом на пять полей: Золотицкое (трубки Ломоносовская, Пионерская, Карпинская-1 и Карпинская-2, Архангельская, Снегурочка, Поморская, Кольцовская, Первомайская и др.); Верхотинское (Волчья, Верхотинская, Осетинская, Майская и др.); Кепинское (Шочинская, Октябрьская и др.); Мельское (известен один силл);

Полтозерское (многочисленные трубки базальтоидов).

В строении осадочного чехла в пределах локализации трубок взрыва Зимнебережного района выделяются три структурных яруса [1, 2, 15–20]. Рифейский объединяет слабометаморфизованные отложения среднего и верхнего рифея мощностью до 2 км, вендский представлен толщей переслаивания алевролитов, аргиллитов и песчаников общей мощностью 0,5–1,0 км, а к верхнепалеозойскому относятся карбонатные отложения среднего и верхнего карбона, нижней и верхней перми. Эти отложения образуют в центральной и восточной частях района пологую моноклинал, мощность их увеличивается от 50 до 200 м в юго-восточном направлении. В основании яруса залегает пачка песчаников урзугской свиты

среднего карбона. Изучение ксенолитов осадочных пород в кимберлитовых трубках показало, что в регионе были развиты нижнепалеозойские (нижний кембрий – нижний ордовик) терригенно-карбонатные породы общей мощностью около 100 м [3, 4, 12].

По мнению ряда исследователей [4, 16, 17, 20], Зимнебережный кимберлитовый район – это область развития вулканических проявлений различного состава, но близкого морфологического типа, образующих единую пространственно-временную совокупность. Здесь известно более 40 кимберлитовых тел и более десятка трубок щелочных базальтоидов. Отмечено снижение алмазонасности магматитов в направлении с запада на восток. Кимберлитовые трубки западной зоны содержат мало индикаторных минералов, причём и количество пикроильменита в них исключительно мало. Среди кимберлитовых пород восточной зоны встречаются отдельные разности с высоким содержанием пикроильменита. В таких породах обычно повышено и содержание пиропов, среди которых возрастает роль низкохромистой разности оранжево-красного цвета. В пределах восточной зоны резко преобладают трубки взрыва пикритов и мелилитов, большинство из которых группируется в пределах восточного фланга зоны. Самое крайнее положение на востоке занимают трубки взрыва базальтовых брекчий. Если при этом учесть, что на северном и южном флангах западной зоны располагаются трубки взрыва пикритов, то наблюдается своеобразная зональность, близкая к концентрической. Возраст кимберлитового и родственного ему вулканизма связан [5, 16, 17, 20] с фазой раннегерцинской тектонической активизации, проявившейся в девоне-карбоне ( $D_2$ -С).

Кимберлитовые породы ААП характеризуются следующими основными признаками [1, 2, 18–20]:

а) резко преобладающей формой тел является трубчатая, повышено количество силлов; дайки встречаются исключительно редко;

б) среди трубчатых тел главную роль играют изометрические и слабоудлинённые, резко доминируют трубки средних размеров, отмечаются весьма крупные тела; мелких и очень мелких трубок мало. У многих трубок сохранился четко выраженный растроб с относительно пологими контактами, переходящий в вертикальный канал цилиндрической или вытянутой (линзовидной) формы;

в) характерно однотипное внутреннее строение трубок;

г) незначительный и близкий состав первичных минералов;

д) повышенное содержание в трубках ксеногенного материала;

е) характерен близкий и специфический петрохимический состав кимберлитов с преобладанием кремнезема;

ё) незначительное содержание глубинных ксенолитов, среди которых преобладают средне- и малоглубинные ксенолиты верхней мантии;

ж) специфическая вторичная минерализация кимберлитов, отличающая их от однотипных пород других древних платформ;

з) низкая магнитная восприимчивость пород;

и) незначительный эрозионный срез диатрем.

Алмазонасные кимберлитовые трубки Золотицкого поля линейно расположены в зоне глубинного разлома субмеридионального направления с нарушениями северо-восточной и субширотной ориентировки. Расстояния между трубками колеблется от 100 м до 2,5 км. В магнитном поле алмазонасные кимберлитовые трубки выражены слабоконтрастными аномалиями интенсивностью до 50–60 нТл. Магнитная восприимчивость кимберлитовых брекчий находится в пределах  $(7,6–490) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а мелилитовых красно-бурых брекчий достигает значений  $(250–3100) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Внедрение кимберлитовых трубок сквозь слаболитифицированные породы венда сопровождается повышенной трещиноватостью в околотрубочной среде, зонами интенсивного дробления мощностью 20–50 м, задирами пластов с амплитудой до

15–20 м, которые прослеживаются на 40–50 м от контакта, а также мульдами проседания в верхних частях вендских толщ [10–13]. По данным измерений петрофизических параметров образца, выполненными нами совместно с А. Т. Бондаренко, исследованиями прослежены изменения значений физических характеристик во вмещающих породах в ближайшем пространстве трубок Карпинская, Пионерская и на значительном удалении от них. В лабораторных условиях были проведены измерения удельного электрического сопротивления  $\rho$ , относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon/\varepsilon_0$  и коэффициента поглощения распространяющихся в горном массиве радиоволн  $\kappa''$  в диапазоне частот электромагнитного поля от постоянного тока до 35 МГц, а также магнитной восприимчивости  $\chi$ , плотности  $\sigma$ , эффективной пористости  $n_{эф}$  и влажности  $W$  на предельно водонасыщенных пластинчатых образцах кимберлитов и вмещающих их горных пород. В полевых условиях измерения  $r$  выполнялись экспресс-методом на естественно-влажных ядрах буровых скважин изучаемых алмазонасных участков. Более детальное описание применяемой методики проведено нами в более ранних работах [3, 12, 13].

Наиболее детально нами комплексно изучены кимберлитовые породы трубки *Пионерская*, что можно перенести и на другие диатремы региона. Диатрема Пионерская, являющаяся самой большой из промышленных трубок Золотицкого поля (её размер составляет 1080×560 м, площадь 35 га), находится в среднем течении р. Золотица, в 500 м от её русла. Для трубки характерен четко выраженный раструб, прослеживающийся в южной части до глубины 260 м, а в северной – 150 м. Раструб трубки перекрыт толщей пород уругской свиты, кварцевыми рыхлыми песчаниками, песком оранжевого цвета, содержащими прослойки карбонатных пород, и карбонатными породами олмуcho-окуневской свиты среднего карбона. Мощность каменноугольных образований составляет 30–40 м. Над ними залега-

ют четвертичные отложений мощностью 30–45 м. В пределах данной трубки вмещающая толща снизу вверх представлена породами усть-пинежской, мезенской и падунской свит вендского бассейна с горизонтальным залеганием слоёв. Общая мощность усть-пинежских отложений пока не установлена. Толща мезенских осадков составляет 200–210 м, падунских – 180 м. По результатам геологической документации кернов скважин, пробуренных в 100–150 м на западе и востоке трубки по центральному профилю, и данным геофизического каротажа граница между усть-пинежской (редкинский горизонт) и мезенской (котлинский горизонт) свитами установлена на глубине 438–441 м, а между мезенской и падунской свитами (котлинский горизонт) – на глубине 233–237 м. Зона перехода от мезенской свиты к падунской была отмечена по резкому изменению величин удельного электрического сопротивления, измеренного на естественно-влажных ядрах скважин. В зоне перехода наблюдается достаточно выраженное повышенное электросопротивление терригенных пород падунской свиты (35–60 Ом·м) по сравнению с мезенской свитой (18–30 Ом·м). На глубине 410 м и глубже по рассматриваемому разрезу регистрируется также по достаточно резкому увеличению электрического сопротивления с 28 до 44–110 Ом·м. На этой глубине повышение величин электросопротивления пород мезенской свиты связано [12, 13] с переходом от обводненной зоны, насыщенной проводящими пластовыми (морскими напорными) водами, к слабообводнённой. Следует также отметить, что по данным измерения значений  $\rho$  на керне на глубине порядка 435 м наблюдается резкое изменение значений  $\rho$  с 44–90 до 16–24 Ом·м. Отмеченная глубина, по-видимому, соответствует верхней границе усть-пенежской свиты (редкинский горизонт), что позволяет утверждать о возможности использования значений  $\rho$  для выделения литолого-возрастных границ вендских отложений в изучаемом регионе.

По данным экспрессных измерений на естественно-влажных кернах кимберлитов и вмещающих их пород непосредственно на разбуриваемых поисковых и разведочных скважинах впервые было установлено распределение значений удельного электрического сопротивления в кимберлитовых трубках Пионерская, Карпинская-2, Архангельская и вмещающих породах до глубины порядка 450–600 м [3, 12–13]. Так, по профилю диатремы Пионерская с глубиной отчётливо прослеживается контрастная дифференциация по значениям электросопротивления между вмещающими породами падунской свиты и кимберлитовыми образованиями. На глубинах порядка 220–240 м при переходе к мезенской свите этого не наблюдается. Выявленная дифференциация по значениям электросопротивления между кимберлитами и вмещающими их породами, в пределах экономически рентабельных глубин поисков порядка до 250 м, имеет важное значение при интерпретации данных наземных, скважинных и аэроаэрозондированных электромагнитных (в том числе и скважинных радиоволновых) методов при поисках и разведке кимберлитовых тел [13]. При этом важно отметить, что резкое снижение электрического сопротивления комплекса пород падунской свиты от 120–380 до 15–60 Ом·м мезенской свиты обусловлено насыщенностью высокопроводящими пластовыми водами. Подчеркнём, что среднее значение электросопротивления автолитовых кимберлитовых брекчий в интервале глубин мезенской свиты в основном выше, чем вмещающих пород. Следовательно, проводящие растворы не проникают в автолитовые брекчии жерлового столба трубки ввиду их высокой вязкости и слабой проницаемости за счёт высокосапунитизированного глинистого вещества. Достаточно высокое  $\rho$  (30–42 Ом·м) кимберлитов трубки Пионерская наблюдается на глубинах более 400 м, что отмечено, например, в трубке Архангельская ( $\rho=30\text{--}50$  Ом·м) на глубине примерно

600 м. В целом методами электромагнитного зондирования различной модификации на глубинах порядка 200 м на площадях Золотицкого кимберлитового поля во вмещающих породах верхнего палеозоя обнаружено резкое понижение значений электрического сопротивления – от 100–300 м до 10–30 Ом·м. Ниже этого уровня глубин дифференциация кимберлитов и вмещающих их пород практически исчезает, что подтверждается результатами измерений на естественно-влажных кернах из разведочных и поисковых скважин, пробуренных на трубке Пионерская.

Высокие содержания  $\text{SiO}_2$  и низкие –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и щелочей натрия и калия в преобладающих типах пород золотицких слоёв падунской свиты серовато-вишневых песчаников мощностью до 195 м определяют высокие значения электрического сопротивления (100–300 Ом·м). Песчаные породы мельницких слоёв мезенской свиты, содержащие в петрохимическом составе больше электропроводных щелочных оксидов ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и меньше  $\text{SiO}_2$ , характеризуются значительно более низкими значениями электросопротивления (20–60 Ом·м) по сравнению с песчаниками падунской свиты. Однако нельзя исключать, что в естественных условиях уровень значений рассматриваемых пород в основном будет определяться содержанием в них поровых пластовых вод той или иной минерализации. На электрическое сопротивление пород большое влияние оказывает и минеральный состав глинистой составляющей. Последняя из вмещающих пород золотицких слоёв преимущественно представлена каолинит-гидрослюдистой ассоциацией, а породы мельницких слоёв – хлоритом, гидрослюдистой и монтмориллонитом (до 30 %). Первая ассоциация повышает значения электросопротивления пород, а присутствие второй – понижает.

По результатам комплексного изучения электрических свойств кимберлитов

и вмещающих их пород Золотицкого поля по латерали построен [12, 13] литолого-петроэлектрический профиль (восток-запад), который прошел по центральной части трубки Пионерская, и пород падунской свиты на уровне глубин эффективного поиска алмазных месторождений (100–150 м). На этом профиле видна отчётливая и достаточно контрастная дифференциация кимберлитов и вмещающих их пород по параметрам электросопротивления на постоянном токе. Аналогичная дифференциация установлена также и по вертикали в пространстве изучаемой трубки. Отмечено также хорошее совпадение данных, полученных по каротажу скважины с результатами измерений на керне, что обусловлено достаточно однородным составом вмещающей среды. Последнее свидетельствует о надежности и достоверности применяемых, дополняющих друг друга методик изучения петроэлектрических характеристик вмещающей среды. Интенсивное уменьшение значений  $\rho$  на глубинах 160–170 м, вызванное засолением поступавшими ранее солеными пластовыми водами, обусловлено условиями рельефа. Из вышеуказанного следует, что высокое электрическое сопротивление пород падунской свиты (80–380 Ом·м и больше) наблюдается до глубины 208 м, где происходит переход к породам мезенской свиты, сопровождающийся скачкообразным уменьшением электросопротивления до значений 40–60 Ом·м. Смена пород падунской свиты на породы мезенской устанавливается как по измерениям на керне, так и по каротажным данным.

Трубка *Архангельская*, расположенная на расстоянии от трубки Карпинская-1, представляет интерес для изучения петрофизических свойств пород, поскольку в её строении отчетливо выражен слабоэродированный кратер, выполненный осадочно-вулканогенными образованиями [12, 13]. Она имеет почти округлую форму, размер 615×515 м, прорывает терригенные отложения венда, перекрывается песками и песчаниками уругской сви-

ты среднего карбона мощностью 5–10 м, а также четвертичными отложениями. В верхней части трубки до глубины примерно 116 м закартирован кратер, выполненный осадочно-вулканогенными и туфогенными породами, разделёнными [1, 2, 6, 13] на три пачки. Верхняя из них (до 50–70 м) сложена красновато-вишневыми разнозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов и осадочных брекчий. Обломочная часть песчаников сложена кварцем, полевыми шпатами и отдельными включениями красноцветных алевролитов, аргиллитов, цементированных железисто-глинистым тонкозернистым веществом. Средняя туфогенная пачка (до 90–100 м) состоит из зеленовато-желтых брекчиевых пород, обломочная часть (70–80 %) которых выполнена псевдоморфозами по оливину, зернами кварца и обломками вмещающих пород. В зависимости от количественного содержания обломочных фрагментов в пределах пачки выделяются туфы, туффиты и туфопесчаники. Нижняя пачка вулканогенно-осадочной толщи (40–50 м) представлена массивными светло-коричневыми, фиолетово-розовыми среднезернистыми кварцевыми песчаниками (зерен кварца 90–95 %, обломков пород венда 5 %, незначительная примесь темноцветной слюды) на глинисто-карбонатном цементе. Автолитовая кимберлитовая брекчия зеленовато-серой окраски (глубины 400–600 м) с резкими границами залегает непосредственно под третьей пачкой кратерных толщ. Брекчии представлены светлыми, зеленовато-голубыми или зеленовато-серыми псевдоморфозами по оливину, обломками красноватых и зеленоватых алевролитов и аргиллитов. Цемент представлен зеленовато-серым глинистым материалом. В самых верхних частях диаметры обломочная часть брекчии состоит из псевдоморфоз мелкочешуйчатого сапонита по оливину (70–80 %), автолитов (10 %), обломков осадочных пород (5 %) и редких зерен (2–3 %). Цементом служит агрегат сапонита с тонкорассеянным рудным минералом.



В полевых условиях при экспресс-изучении на естественно-влажных кернах были измерены значения электрического сопротивления кимберлитов на постоянном токе по скважинам, которые пересекали кратерную туфогенную толщу и жерловую автолитовую брекчию до глубины более 600 м. Перекрывающие породы урзугской свиты и вулканогенно-осадочные толщи выделяются высокими значениями электрического сопротивления, достигающими 60–600 Ом·м. Верхняя и нижняя пачки, сложенные в основном песками и песчаниками (в том числе массивными среднезернистыми их разностями), характеризуются примерно одинаковыми значениями электрического сопротивления (150–500 Ом·м). Средняя пачка пестроцветных туфовых образований, в составе которых в основном преобладают псевдоморфозы по оливину, характеризуется самыми низкими величинами электросопротивления, равными 38–80 Ом·м. При переходе от вулканогенно-осадочной толщи к породам жерла кимберлитовой автолитовой брекчии происходит резкий спад электросопротивления от 600 до 20–33 Ом·м. Затем на глубине 180–270 м в зеленых с коричневатым оттенком трещиноватых массивных брекчиях в отдельных случаях электрическое сопротивление понижается до значений 8–10 Ом·м. На глубинах, превышающих 300 м, значения электросопротивления повышаются до 25–30 Ом·м и прослеживаются до глубины 530 м. В интервале от 530 до 600 м встретилась пачка трещиноватых кимберлитовых брекчий, электросопротивление которых понизилось до 18 Ом·м. Затем на глубине, превышающей 600 м, в голубой массивной и вязкой, с большим трудом отбивающейся геологическим молотком, автолитовой брекчии значения электрического сопротивления составили в среднем 40 Ом·м.

Трубка *Карпинская-2* (размером 900×250 м, площадью 13,3 га), расположенная в верхнем течении р. Светлая, в отличие от трубки Карпинская-1, характеризуется отсутствием кратера и кратер-

ных образований. Поэтому на уровне среза поверхности трубки, непосредственно под четвертичными отложениями, обнажаются породы первой фазы – ксенотуфобрекчии и второй – автолитовой брекчии. Автолитовые кимберлитовые брекчии представлены зелеными и красными разновидностями. Цветовая окраска пород зависит от степени окисления железа. Зелёные брекчии расположены в центре трубки, а красные окаймляют их. Иногда зеленая автолитовая брекчия меняется однотипной породой голубоватого оттенка. Присутствие в минеральном составе автолитовой брекчии кальцита в виде разноориентированных гнезд, нитевидных жил и тонких (1–3 мм) плоских пластинчатых образований резко повышает электрическое сопротивление кимберлитов до значения 180 Ом·м, что в целом характерно для кимберлитов Золотицкого поля.

Трубка *Поморская* (размером 370×246 м), имеющая форму овала, вытянутого в меридиальном направлении, перекрыта песчаниками урзугской свиты среднего карбона и четвертичными отложениями, суммарная мощность которых 37–50 м. Вмещающие породы представлены (сверху вниз) переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов редкинского (сверху) и котлинского (внизу) горизонтов венда. В приконтактной зоне вмещающие породы превращены в брекчии, мощность которых в южной и северной частях тела достигает 8–10 м. Брекчирование вмещающих пород сопровождается трещиноватостью, окварцеванием, образованием по ней окисленных сульфидов, прожилков кальцита, зеркал скольжения. Верхние горизонты трубки сложены ксенолито- и туфобрекчиями, различающимися между собой количеством осадочных пород (до 50 и более 50 % соответственно). Ниже по разрезу они сменяются автолитовыми кимберлитовыми брекчиями, сложенными в основном автолитами кимберлита (от первых миллиметров до 12 см), псевдоморфозами сапонита и обломками вмещающих пород. Количество псевдоморфоз по оливину I группы составляет 5–35 %,

а II группы – 5–20 % от объёма породы [12, 13]. Анализ значений изученных параметров плотности, эффективной пористости, водонасыщенности, магнитной восприимчивости, удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости и коэффициента поглощения энергии радиоволн (в диапазоне электромагнитных частот от постоянного тока и до 1,5 МГц) кимберлитовых образований и вмещающих их осадочных пород венда показывает отчётливую дифференциацию этих образований по значениям петрофизических параметров. Из вышеуказанного следует, что полученные петроэлектрические параметры кимберлитов и вмещающих пород являются основой, на которой планируются прогнозно-поисковые работы наземными и скважинными электроразведочными методами различной модификации.

Анализируя аналитические материалы, можно отметить зависимость величины параметров  $\rho$ ,  $\epsilon/\epsilon_0$  и  $\kappa$  вмещающих пород и кимберлитов трубок Поморская и Ломоносовская от частоты электрического поля в диапазоне от постоянного тока до 40 МГц. В этом диапазоне частот электрическое сопротивление песчаников из вмещающих трубки толщ уменьшается от 580 до 20 Ом·м. Сильную зависимость испытывают также значения диэлектрической проницаемости и коэффициента поглощения энергии радиоволн в горном массиве. Существенная зависимость электрических параметров от частоты электрического поля вмещающих пород и кимберлитов также должна учитываться при поисках коренных месторождений алмазов методами, использующими этот диапазон частот электромагнитного поля.

В процессе исследований нами [3, 12, 13] было обнаружено довольно отчетливое изменение физических свойств песчаников относительно кимберлитовых трубок Светлореченского участка. Так, по нашим измерениям наблюдается значительное увеличение объёмной плотности от 2,01–2,07 г/см<sup>3</sup> для пород, находящихся на отдалении от кимберлитовой трубки в 20 км, до 2,17–2,27 г/см<sup>3</sup> для пород пере-

ходной зоны, 2,20–2,49 г/см<sup>3</sup> – для изменённых пород приконтактных участков и до 2,34–2,50 г/см<sup>3</sup> для пород, лежащих на контакте с кимберлитовой трубкой. Такое же изменение испытывают и значения эффективной пористости, водонасыщенности и в широком диапазоне электромагнитных частот удельного электрического сопротивления. Изменение электрического сопротивления вмещающих пород установлено в ближайшем пространстве трубки Пионерская. Аналогичное изменение физических свойств в околотрубном пространстве нами [11–13] обнаружено и на коренных месторождениях алмазов Сибирской платформы. Так, в пространстве трубки Амакинская Малоботуобинского алмазоносного района значения удельного электрического сопротивления мерзлых терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя находятся в пределах 800–2600 Ом·м. С удалением от трубки и Западного регионального разлома значения электросопротивлений кимберлитов вмещающих пород понижаются до 500–860 Ом·м. Латеральное изменение электросопротивления и других петрофизических параметров наблюдается также и по профилям, пересекающим региональные разломы в пространстве Мирнинского кимберлитового поля Сибирской платформы.

Экспрессными измерениями на естественно-влажном керне в период бурения скважины, расположенной на восточном борту трубки Пионерская, обнаружено изменение значений  $\rho$  кимберлита с глубиной и термодинамическое воздействие кимберлитовой интрузии на электрические характеристики вмещающих их пород. Рассматриваемая скважина вышла во вмещающие породы падунской свиты на глубине 192–193 м, где наблюдается повышение величин электрического сопротивления с 44 до 220 Ом·м. В то же время на уровне этих же глубин в скважине, пробуренной на этом же профиле за пределами кимберлитовой трубки, значения  $\rho$  вмещающих горных пород падунской свиты находятся в пределах 45–60 Ом·м. Глубина

забой этой скважины на кимберлитовом теле, составляющая 236 м, соответствует границе между высокоомными породами падунской и проводящими образованиями мезенской свит. Однако на этой глубине резкого перехода по значениям электрического сопротивления между упомянутыми свитами не отмечено, что свидетельствует об отсутствии на этом уровне глубин описываемого участка высокопроводящих поровых и межпластовых вод. В интервале глубин порядка 203–236 м измерения электрического сопротивления вмещающих пород выполнены вдоль напластования под углом к оси керна ( $<70$ – $80$ ), поэтому они примерно в 2,7 раза ниже по сравнению с породами вышележащего горизонта, что соответствует среднему значению коэффициента анизотропии электрического сопротивления для анизотропных пород падунской свиты.

В результате проведённых исследований было выявлено, что величины удельного электрического сопротивления перекрывающих, вмещающих терригенных пород венда и кимберлитов Золотицкого поля в диапазоне частот электромагнитного поля от постоянного тока до 40 МГц размещаются в достаточно широких предельных интервалах. Электросопротивление на постоянном токе вмещающих пород падунской свиты, представленных в основном кварцевыми песчаниками, находится в пределах 80–300 Ом·м. Осадочные породы мезенской и усть-пинежской свит, лежащие ниже падунской толщи, характеризуются значительно более низкими значениями электрического сопротивления (9–30 Ом·м). Естественно-влажные отсортированные (практически без пелитового компонента) мощные залежи песков, вскрытые на западе за пределами трубки Пионерская, и в центре самой трубки белые пески, окрашенные и глинистые, имеют значения электросопротивления соответственно 1400–1800, 600–830, 340–530 Ом·м. Значения электросопротивления водных флюидов, насыщающих четвертичные отложения, и талых поверхностных вод составляют 40–60 и

140–180 Ом·м, а электросопротивление воды, фонтанирующей из гидрогеологической скважины на трубке Пионерская с глубины 100 м, – 43–60 Ом·м. Это практически пресные воды с минерализацией 0,1–1,0 г/л [1]. Следовательно, высокоминерализованные пластовые воды в падунскую свиту на уровне глубины до 230 м в диаметре не проникают. Тем не менее не исключается проникновение электропроводящих водных флюидов в падунскую свиту на локальных участках по разломным нарушенным зонам. В результате проведённых исследований выявлены широкие колебания петрофизических параметров кимберлитов, магматических эффузивных и интрузивных, осадочных и метаморфических образований северной части Восточно-Европейской платформы. Так, *магнитная восприимчивость* четвертичных отложений на различных глубинах колеблется от единиц до  $400 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, в среднем она изменяется от 4,7 до  $40 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Для прослоев глин и песков, обогащённых магнетитом, самородным железом, железистыми оксидами, магнитная восприимчивость достигает значений  $(800$ – $1000) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и больше. Палеозойские отложения, перекрывающие кимберлитовые трубки и вмещающие их вендские образования, практически немагнитные. Их значения  $\chi$  колеблются в пределах  $(0$ – $160) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. В отдельных горизонтах песчаников и конгломератов урзугской свиты среднего карбона, обогащённых хромшпинелидами и самородным железом, магнитная восприимчивость достигает предельных значений –  $(180$ – $3200) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Осадочные породы венда слабомагнитные, их предельные величины магнитной восприимчивости составляют  $(2$ – $80) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Более высокие значения  $\chi$  наблюдаются в маломощных прослоях аргиллитов и алевролитов падунского и котлинского горизонтов –  $(40$ – $400) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Регистрируются также относительно высокие значения  $\chi$  в слоях пород, слагающих отдельные горизонты и свиты вендского комплекса –  $(40$ –



68)·10<sup>-5</sup> ед. СИ. В аргиллитах мельских слоёв венда на контактах с кимберлитом  $\chi$  возрастает до (60–150)·10<sup>-5</sup> ед. СИ, составляя в среднем (50–70)·10<sup>-5</sup> ед. СИ. Породы, слагающие пластовые тела кимберлитовых образований в районе р. Мела, достигают весьма высоких значений  $\chi$ , равных (2500–3000)·10<sup>-5</sup> ед. СИ; среднее их значение составляет (950–1000)·10<sup>-5</sup> ед. СИ. Магнитная восприимчивость кимберлитовых пород Золотицкого поля колеблется в очень широких интервалах, составляющих (7–490)·10<sup>-5</sup> ед. СИ. При этом наиболее высокими значениями  $\chi$  характеризуются туфовые и туфобрекчиевые образования, значительно меньшими – автолитовые брекчии. Магматические породы, выполняющие трубчатые тела Онежского полуострова, имеют значения магнитной восприимчивости до 2000·10<sup>-5</sup> ед. СИ, ксенотуфобрекчии – до 11000·10<sup>-5</sup> ед. СИ, при среднем значении  $\chi$  данного района составляет (130–1500)·10<sup>-5</sup> ед. СИ. В целом магнитное поле Онежского региона характеризуется сложным строением. Пески из туфогенных и туфоосадочных пород характеризуются значениями магнитной восприимчивости от 1500 до 3600 ед. СИ, базальты и долериты – 600–6250 ед. СИ, при средних значениях – (3140–3400)·10<sup>-5</sup> ед. СИ.

База данных *электрических свойств* параметров вмещающих геологических сред и рудных объектов является основой, на которой строится весь комплекс геолого-геофизических поисковых и разведочных работ, использующий электроразведочные методы, работающие в широком диапазоне электромагнитных частот. Четвертичные отложения, сложенные морскими, ледниковыми, аллювиальными речными и биогенными образованиями, отличаются пестрым литологическим составом, что нашло отражение в широком диапазоне изменений электрического сопротивления. Так, значение удельного электрического сопротивления на постоянном токе для глин различного состава Золотицкого поля составляют 20–

40 Ом·м, темно-коричневого цвета песка на глубинах 1–20 м – 60–110 Ом·м, песка с галькой – 110–130 Ом·м, гравелита с примесью глины и песка – 180–390 Ом·м, отсортированных песков из обнажений – 1400–1800 Ом·м, а глинистых песков – 340–500 Ом·м. Среди палеозойских отложений региона наиболее высокими значениями  $\rho$  характеризуются породы пермского возраста, представленные гипсом и ангидритом – 500–1600 Ом·м, карбонатные породы перми-карбона – 700–1200 Ом·м (в отдельных случаях они достигают 1700–1800 Ом·м), аргиллиты и алевролиты среднего карбона урзугской свиты – 120–160 Ом·м, песчаники – 60–600 Ом·м.

Значения удельного электрического сопротивления пород венда падунской свиты, вмещающих кимберлиты на уровне глубин до 230 м, находятся в пределах 50–500 Ом·м (средняя величина составляет 120–200 Ом·м). Следует отметить, что на этих глубинах наблюдается контрастная дифференциация по электрическим параметрам между кимберлитами и вмещающими их породами, позволяющая применять электроразведочные методы при поисках трубок взрыва. Вмещающие породы венда мезенской и усть-пинезской свит, залегающие ниже падунской свиты, характеризуются весьма низкими значениями электрического сопротивления – 12–48 Ом·м. Для высокоглинистых, пелитоморфных образований сюземских слоев, обогащенных сапонитом,  $\rho_o$  имеет значение только 12–23 Ом·м. Высокая электропроводность терригенных пород нижней части венда объясняется высокой их засоленностью минерализованными пластовыми водами хлорид-натриевого состава, а также высоким содержанием в них глинистой фракции, в которой доминируют гидроксиды железа и монтмориллонит. Уровень электрического сопротивления пород также зависит от пористости и водонасыщенности [2, 10, 13]. Рифейский комплекс пород, залегающий на кристаллическом фундаменте (базальты, долериты и др.), имеет высокие значения удельного электрического сопротивления, достигающие 2250–3000 Ом·м. Самые вы-

сокие величины электрического сопротивления на постоянном токе в регионе характерны для пород фундамента (граниты, гнейсы, кристаллические сланцы, габбро-амфиболиты и др.), они находятся в пределах 3 500–30 000 Ом·м.

Кимберлитовые образования Золотицкого поля, в зависимости от степени вторичных изменений, содержания ксенолитов вмещающих пород, карбонатизации, сапонитизации, окварцевания, состава цементирующего вещества, структуры, характеризуются электрическими параметрами, находящимися в широких предельных интервалах. Сильноизмененные с глинисто-железистым цементом кимберлиты первой фазы внедрения диатремы Карпинская, по измерениям на керне, обладают весьма низкими значениями удельного электрического сопротивления на постоянном токе – 2–18 Ом·м. Автолитовые брекчии второй фазы имеют значения электрического сопротивления, равные 8–30 Ом·м и больше, карбонатизированные зеленовато-голубые автолитовые брекчии – 45–95 Ом·м, интенсивно карбонатизированные (кальцита до 45 % объема породы) – 95–180 Ом·м. Автолитовые брекчии зеленого и красного цвета, красно-бурые и темно-зеленые туфобрекчии с серпентиновым цементом трубки Пионерская обладают значениями  $\rho$  от 5 до 95 Ом·м, а мелилитовые красно-бурые брекчии Ненокского рудного поля находятся в пределах 3–50 Ом·м при среднем значении 13 Ом·м. Из приведенного выше следует, что при наличии широкого разброса значений удельного электрического сопротивления в верхних горизонтах трубок наблюдается достаточно отчетливая дифференциация по этому параметру между кимберлитовыми образованиями и вмещающими их осадочными породами венда до глубины примерно 230 м. Однако в тех случаях, когда кимберлиты претерпели постамагматические изменения и интенсивную карбонатную минерализацию (в интервале примерно 100 м), отмеченной дифференциации почти не наблюдается. Следовательно, в таких случаях поиски кимберлитовых трубок скважинными электромагнитными

методами должны проводиться в слабокарбонатизированных породах.

*Плотностные и упругие свойства пород* существенно изменяются в зависимости от литологических особенностей образований. Так, величины плотности песчано-гравийно-галечниковых отложений колеблются в пределах 1,6–1,86 г/см<sup>3</sup>. Присутствие в них карбонатного материала повышает плотность до 2,46–2,48 г/см<sup>3</sup>. Пластовые скорости ( $V_n$ ) названных пород изменяются от 200–300 м/с, а для хорошо сцементированных разностей они достигают 1000 м/с. Наиболее плотными являются карбонатные породы урзугской свиты, перекрывающие кимберлитовые трубки и вмещающие их вендские осадки. Для перекрывающих и вмещающих пород плотность, пористость, водонасыщенность колеблются соответственно в интервалах: 2,25–2,76 г/см<sup>3</sup>, 2–16 и 4,38 %, а  $V_n$  достигают предельных значений 1000–2960 м/с. Пластовая скорость пропластков ангидритов, значения плотности которых изменяется в пределах 2,68–3,11 г/см<sup>3</sup>, достигает 2000–2800 м/с и больше. Пластовые тела в районе р. Мелы обладают плотностью, изменяющейся в пределах 2,22–2,80 г/см<sup>3</sup>, трубчатые – 1,92–2,80, в среднем составляют – 2,30 г/см<sup>3</sup>, а их пористость, водонасыщенность составляют 8–40; 5–25 %. Пластовые скорости этих пород варьируют от 650 до 4000 м/с, а  $V_n$  пород их трубок Онежского полуострова – от 300 до 5000 м/с. Интрузивные тела выделяются повышенной плотностью, равной 2,66–2,80 г/см<sup>3</sup>, а эффузивные осадочные породы характеризуются широкими вариациями величин этого параметра (1,90–2,89 г/см<sup>3</sup>). Рифейские туфы, песчаники, базальты, долериты имеют плотность в интервалах значений 2,66–2,88 г/см<sup>3</sup>, а их пластовая скорость высокая – 3500–5600 м/с.

Анализируя в целом полученные петрофизические материалы месторождений алмазов северной части Восточно-Европейской платформы, можно утверждать, что рудоносные кимберлитовые объекты и вмещающие их осадочные породы на уровне верхних горизонтов падунской сви-

ты достаточно контрастно дифференцируются по петрофизическим свойствам, позволяющим проводить поисковые работы геолого-геофизическими методами различной модификации. Установлена четкая дифференциация кимберлитовых пород по абсолютным значениям удельного электрического сопротивления, обусловленная минеральным составом и типом цемента пород, что необходимо учитывать при интерпретации результатов электрозведочных методов. Экспрессными измерениями на естественно-влажном керне и образцах выявлено околотрубочное изменение электрического сопротивления и других петрофизических характеристик песчаников венда вблизи и на контакте кимберлитовых трубок Карпинская и Пионерская, что может служить дополнительным поисковым критерием. Высокая электропроводность кимберлитов Золотицкого поля обусловлена микрокристаллическим сапонитовым веществом, образовавшимся в результате полной метасоматической переработки ультраосновных магматических образований, а присутствующие в регионе на уровне глубин 220–400 м высокоминерализованные пластовые воды в жерловое пространство кимберлитовых трубок не проникают и не оказывают влияние на их проводимость. В отличие от этого, осадочные горные породы венда являются анизотропными геологическими средами и характеризуются высокими значениями коэффициента анизотропии удельного электрического сопротивления, что должно учитываться и использоваться при поисках коренных кимберлитовых образований электромагнитными методами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Богатилов О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А.* и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Наука, 2000. 524 с.
2. *Богатилов О. А., Кононова В. А., Первов В. А.* и др. Перспективы алмазоносности платформенных магматических комплексов Восточно-Европейской платформы по результатам петролого-геохимического анализа// Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на

пороге XXI века. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. С. 356–360.

3. *Бондаренко А. Т.* Физические свойства кимберлитов и вмещающих их осадочных пород Зимнебережного алмазоносного поля// Руды и металлы. 1995. № 3. С. 90–96.

4. *Бурмистров А. А., Гаранин К. Н., Старостин В. И., Южаков Л. С.* Сравнительный анализ петрофизических параметров порфировых кимберлитов трубок имени В. Гриба (Архангельская область) и Айхал (Якутия)// Геология алмазов – настоящее и будущее. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2005. С. 762–772.

5. *Ваганов В. И., Голубев Ю. К.* Перспективы алмазоносности европейской части России// Мин. ресурсы России. 1997. № 4. С. 56–69.

6. *Вержак В. В., Минченко Г. В., Ларченко В. А., Сотников В. И.* Специфика поисков месторождений алмазов в Архангельской провинции, проблемы их научного обеспечения// Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании “АЛРОСА”: современное состояние, перспективы, решение. Мирный: Изд-во Мирнинской типографии, 2003. С. 34–42.

7. *Гриб В. П., Станковский А. Ф., Веричев Е. М.* и др. Первая находка среднекарбонной эруптивной брекчии на севере Русской платформы// Труды ЦНИГРИ. 1981. Вып. 15. С. 112–113.

8. *Жердев П. Ю., Левин В. И., Кисель С. И., Колодько А. А.* О некоторых типоморфных особенностях и распределении группы глинистых минералов в породах древних вулканических аппаратов Юго-Восточного Беломорья// Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы. М.: Наука, 1987. С. 122–136.

9. *Жердев П. Ю., Колодько А. А., Кисель С. И.* и др. Состав и распределение минералов группы серпентинов, смектитов в вулканогенных породах некоторых трубчатых тел Восточно-Европейской платформы// Проблемы кимберлитового магматизма. Новосибирск: Наука, 1989. С. 153–164.

10. *Зинчук Н. Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ// Геология и геофизика. 1992. № 7. С. 99–109.

11. *Зинчук Н. Н.* Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.

12. *Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т.* Физические свойства кимберлитов и вмещающих пород Архангельской алмазоносной провинции// Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. С. 237–262.

13. Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Гарат М. Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. М.: Недра, 2002. 695 с.

14. Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Мельник Ю. М., Мовчан Н. П. Вторичные минералы кимберлитов. Киев: Наукова думка, 1987. 282 с.

15. Махоткин И. Л., Жердев П. Ю. Некоторые данные по составу щелочно-ультраосновных пород трубок взрыва Архангельской области//Докл. АН СССР. 1993. Т. 329. № 4. С. 484–489.

16. Саблуков С. М. Новые данные о поверхностных формах проявления кимберлитового вулканизма//Докл. АН СССР. 1985. Т. 282. № 5. С. 1223–1226.

17. Саблуков С. М. Некоторые особенности внутреннего строения кимберлитовых

трубок//Труды ЦНИГРИ. Вып. 218. 1987. С. 37–41.

18. Сеницын А. В., Дауев Ю. М., Гриб В. П. Структурное положение и продуктивность кимберлитов Архангельской провинции//Геология и геофизика. 1992. № 10. С. 74–83.

19. Соболев Н. В., Похиленко Н. П., Гриб В. П. и др. Особенности состава и условия образования глубинных минералов в трубках взрыва Онежского полуострова и кимберлитах Зимнего Берега Архангельской области//Геология и геофизика. 1992. № 10. С. 84–93.

20. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов Мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

Рукопис отримано 14.02.2014.

**М. М. Зінчук**, *д-р геол.-мінерал. наук, проф., акад. АН РС(Я), голова Західноякутського наукового центру Академії наук Республіки Саха (Якутія), м. Мирний, nnzinchuk@rambler.ru*,  
**М. М. Зінчук**, *науковий співробітник (Західноякутський науковий центр Академії наук Республіки Саха (Якутія)), м. Мирний, nnzinchuk@rambler.ru*

## **ПЕТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КІМБЕРЛІТІВ І ВМІЩУЮЧИХ ЇХ ПОРІД ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕРИТОРІЙ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ**

У результаті проведених досліджень було виявлено, що величини питомого електричного опору, щільності та пружності, магнітної сприйнятливості й інших петрофізичних параметрів перекриваючих, вмісних теригенних порід венду й кимберлітів Золотицького поля Східноєвропейської платформи в діапазоні частот електромагнітного поля від постійного струму до 40 МГц розміщуються в досить широких граничних інтервалах. Загалом рудоносні кимберлітові об'єкти та осадові породи, що вміщують їх, на рівні вивчених верхніх горизонтів досить контрастно диференціюються за петрофізичними властивостями, що дає можливість проводити пошукові роботи на алмази геолого-геофізичними методами різної модифікації.

**Ключові слова:** Східноєвропейська платформа, Золотицьке поле, кимберліти, вмісні й перекриваючі породи, петрофізичні особливості.

**N. N. Zinchuk**, *Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, prof., acad. West-Yakutia Scientific Centre of the Sakha (Yakutia) Republic Academy of Sciences, nnzinchuk@rambler.ru*

**M. N. Zinchuk**, *scientist West-Yakutia Scientific Centre of the Sakha (Yakutia) Republic Academy of Sciences, nnzinchuk@rambler.ru*

## **PETROPHYSICAL PROPERTIES OF KIMBERLITES AND THEIR HOSTING ROCKS OF EAST-EUROPEAN PLATFORM PERSPECTIVE TERRITORIES**

In the result of carried out investigations it was revealed that magnitudes of specific resistance, density and elastic properties, magnetic susceptibility and other petrophysical parameters of overlying, hosting terrigenous rocks of Vend and kimberlites of Zolotitsky field of East-European platform in frequency range of electromagnetic field from direct current to 40 MHz are located in sufficiently broad limiting intervals. On the whole, ore-bearing kimberlite targets and their hosting sedimentary rocks, at the level of investigated upper horizons, are differentiated in a sufficiently contrast way by petrophysical properties, which allow carrying out prospecting works on diamonds by geologic-geophysical methods of different modification.

**Keywords:** East-European platform, Zolotitsky field, kimberlites, hosting and overlying rocks, petrophysical specific features.