

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МОНИТОРИНГОВЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ УЧАСТКОВ ОПАСНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ *

Л.А. Христенко, *Горный институт УрО РАН*

А.В. Кичигин, *Горный институт УрО РАН*

Е.И. Паршаков, *Горный институт УрО РАН*

А.А. Тайницкий, *Горный институт УрО РАН*

Целью исследований являлось повышение достоверности и информативности результатов интерпретации естественных и искусственных электрических полей при использовании вейвлет-преобразований и методов вероятностно-статистического подхода. Полученные результаты показали, что использование вейвлетов позволяет выявить и описать скрытые особенности сигналов, получить удобные для анализа представления графиков значений кажущегося сопротивления, при различной детальности их рассмотрения. Получаемые в результате геолого-геофизических исследований данные, в силу объективных причин, можно считать выборкой одной или нескольких случайных величин. Это позволяет анализировать их статистические характеристики с помощью аппарата теории оценок.

Использование аппарата теории оценок дает возможность описать (в формализованном виде), сравнить, разделить на классы геологические объекты. Традиционная интерпретация данных полевых измерений естественного поля и электропрофилирования, чаще всего основанная на качественном анализе или на простейших приемах оценки глубин и размеров аномалиеобразующих тел, влечет неоднозначность выводов о наличии и природе явлений, вызвавших изменения наблюдаемых параметров. Объективность количественных оценок дает принципиально иные результаты интерпретации наблюдаемых объектов и процессов и помогает повысить достоверность выводов о геологической природе возникновения изучаемых явлений и процессов. Созданы новые подходы к интерпретации данных электропрофилирования, позволяющие существенно увеличить объем полезной информации, более четко проследить неявно выраженные в наблюдаемых полях особенности геологического строения, повышающие

* Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных по гранту РФФИ № 16-45-590046 «Совершенствование методов интерпретации мониторинговых электроразведочных наблюдений с целью выделения участков опасных инженерно-геологических осложнений».

достоверность прогноза катастрофических явлений. Выработана методика применения процедур вейвлет-преобразования и классификации для эффективного решения задач картирования пространственных границ участков инженерно-геологических осложнений в пределах площадей комплексных геолого-геофизических мониторинговых наблюдений потенциально опасных по карсто- и техногенным проявлениям.

Ключевые слова: естественное электрическое поле, кажущееся сопротивление, вейвлет-преобразование, статистические характеристики, безэталонная классификация, инженерно-геологические осложнения.

Электроразведка входит в комплекс методов, используемых при решении различных геологических и горнотехнических задач, связанных с обеспечением эффективности и безопасности отработки соляных месторождений. Наземные методы применяются при изучении общих закономерностей изменения электрических свойств солевых и надсолевых отложений с целью выделения особенностей геологического строения исследуемых участков (тектонических нарушений, зон повышенной трещиноватости, замещения пород), оценки физического состояния водозащитной толщи, картирования водонесных горизонтов и др. [6, с. 223].

Для контроля сохранения сплошности водозащитной толщи и выявления негативных изменений состояния горного массива на потенциально опасных участках шахтных полей в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМС) регулярно выполняется геолого-геофизический мониторинг, включающий электрометрические наблюдения методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), симметричного электропрофилеирования (СЭП), срединного градиента (СГ) и естественного поля (ЕП). Изменения значений электрического сопротивления и естественной поляризации, связанные с составом грунтов и их фильтрационными свойствами, позволяют проводить картирование границ участков инженерно-геологических осложнений. Имеется богатый положительный опыт использования этого комплекса для решения подобных задач.

Система комплексного мониторинга, включающая электрометрические наблюдения СЭП и ЕП, позволяет получить высокую детальность изучения геологической среды на сравнительно небольших глубинах, повысить точность получаемой информации при комплексировании с другими геолого-геофизическими методами. Однако интерпретация данных полевых измерений ЕП и СЭП чаще всего основана на качественном анализе или на простейших приемах оценки глубин и размеров аномалиеобразующих тел, а это влечет неоднозначность выводов о наличии и природе явлений, вызвавших изменения наблюдаемых параметров. Многообразие факторов, оказывающих влияние на величину сопротивления, является, с одной стороны, физической предпосылкой применимости методов электроразведки для решения тех или иных задач, связанных с изучением геологического строения и физического состояния геологической среды, с другой – предъявляет повышенные требования к способам геологического истолкования, которые обеспечивали бы необходимую однозначность и достоверность получаемых материалов [6, с. 224].

Целью представленных исследований являлось повышение достоверности и информативности результатов интерпретации естественных и искусственных электрических полей при использовании вейвлет-преобразований (ВП) и методов вероятностно-статистического подхода. Ставилась задача определения эффективного набора процедур преобразования и последовательности их использования

при обработке и интерпретации данных электрометрических наблюдений. Выполняемые преобразования должны способствовать более обоснованному картированию границ участков инженерно-геологических осложнений.

Вейвлеты и основанные на них непрерывные и дискретные вейвлет-преобразования были предложены еще в начале 90-х годов 20-го века и в последующее время интенсивно развивались. Вейвлет-преобразование широко применяется для исследования нестационарных сигналов, неоднородных полей и изображений различной природы и временных рядов, для распознавания образов и решения многих задач в радиотехнике, связи, электронике, ядерной физике, сейсмоакустике, метеорологии, биологии, экономике и других областях науки и техники. Алгоритмы ВП представлены в широко распространенных системах компьютерной математики (СКМ), таких как Mathcad, MATLAB, Mathematika. Международные стандарты JPEG-200, MPEG-4 и графические программные средства Corel DRAW широко используют ВП для обработки изображений.

В России первые работы по применению ВП появились почти с десятилетней задержкой и первоначально носили обзорный характер. В настоящее время практическое использование вейвлетов столь обширно, а результаты настолько впечатляющие, что это позволило предположить возможность их использования при интерпретации данных электроразведки. Выполненные преобразования данных полевых электрометрических измерений касались аспекта их упрощения, позволяющего отчетливее выделить скрытые закономерности изменения амплитуды физических полей.

Исследованиями авторов установлено, что использование быстрого вейвлет-преобразования (БВП) в качестве процедуры предварительной подготовки данных позволяет уточнить пространственное положение комплексных геофизических аномалий [9]. Детальное сопоставление полученных результатов в пределах БКПРУ-4

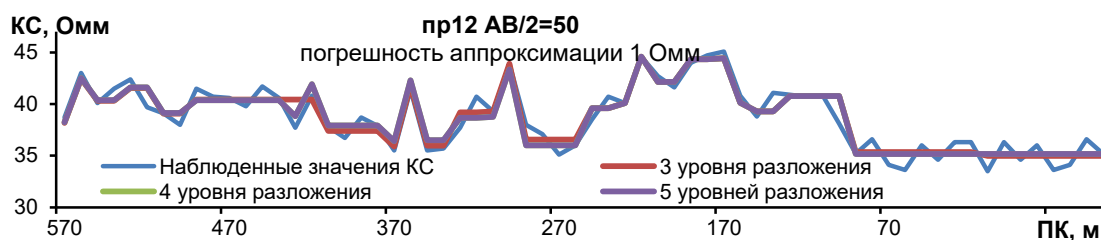
по отдельному профилю, а затем по площади, показало, что контуры классов (геофизических аномалий), полученные по восстановленным значениям КС, более точно, чем контуры, полученные по наблюдаемым КС, согласовываются с пространственным положением осложнений волнового поля, выявленных по результатам сейсмических исследований и с результатами газогеохимического опробования.

Основополагающая идея кратномасштабного вейвлет-представления сигналов заключается в разбивке имеющихся цифровых значений на две составляющие: «грубую» (аппроксимирующую) и «уточненную» (детализирующую), с последующей их детализацией итерационным методом.

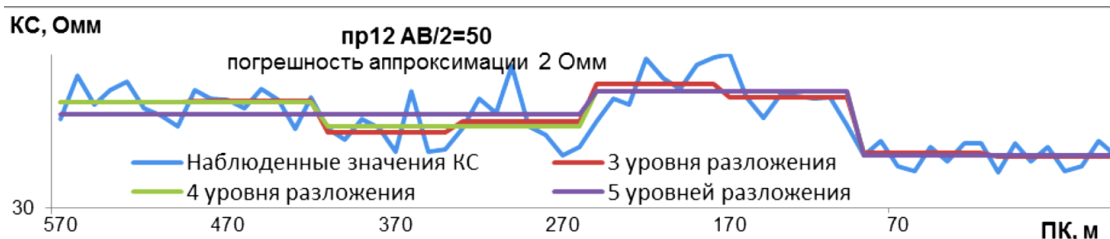
Для выполнения так называемого дискретного прямого и обратного вейвлет-преобразования с применением быстрых алгоритмов (БВП), используют короткие импульсы-вейвлеты, сконструированные на основе ортогональных базисных функций [5]. Первый простейший тип вейвлета был описан Хааром еще в 1909 году.

БВП дискретных значений кажущегося сопротивления по профилям, расположенным в пределах шахтных полей БКПРУ и СКРУ, было выполнено программой HAAR_2 [2, 3], реализующей сжатие сигнала, представленного в виде значений амплитуд с использованием разложения в базисе Хаара. Расчеты проводились по каждому профилю для 2, 3, 4 и 5 уровней разложения сигнала при заданной погрешности аппроксимации наблюдаемых значений 1, 2 и 3 Ом·м. На рис.1 приведены результаты БВП значений КС, полученных по данным СЭП, с разносом питающей линии $AB/2=50$ м, в пределах БКПРУ-2 (пр 12).

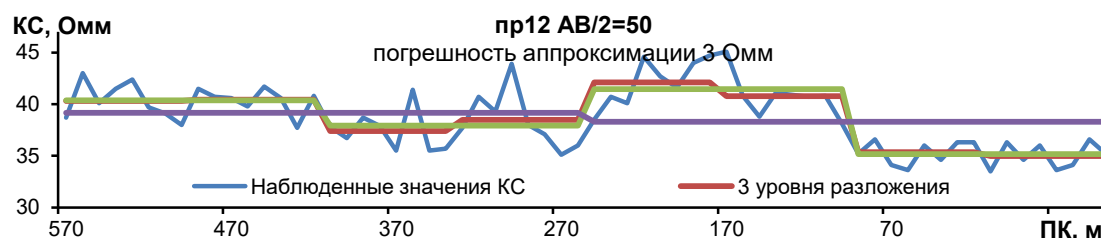
Установлено, что число уровней разложения сигнала при вейвлет-преобразовании, связанное с закономерностями изменения амплитуды вдоль профиля, может отличаться в пределах разных участков исследований и остается одинаковым для сближенных профилей. Для большинства профилей, расположенных в пределах шахтных полей БКПРУ и СКРУ, наиболее предпочтительное для решения по-



а



б



в

Рис. 1. Быстрое вейвлет-преобразование с базисными функциями Хаара.

Профиль 12 БКРУ-2. Пороговые значения погрешности: а – 1 Ом·м; б – 2 Ом·м; в – 3 Ом·м

ставленной задачи, разложение сигнала получено на 4 уровнях. Наилучший результат восстановления КС при всех расчетах получается с заданной погрешностью аппроксимации 2 Ом·м.

Выбор наилучшего варианта осуществлялся по протоколам расчетов, формируемых программой: сравнивалось количество отбракованных вейвлет-коэффициентов и фактические погрешности восстановления функций. В таблице приводятся результаты БВП значений КС, по данным СЭП, полученным с разносом питающей линии АВ/2=50 м в пределах одного из потенциально опасных участков на подработанных площадях юго-восточного окончания шахтного поля БКПРУ-2, для трех уровней разложения и 3 пороговых значений погрешности. Как видно из таблицы, расчеты на 4 уровнях с погрешностью 2 Ом·м позволили получить предпочтительное для решения задачи разло-

жение сигнала (отбраковать сравнительно много мелких особенностей сигнала, отождествляемых с помехами, при сохранении его главных характеристик).

Варианты с наименьшей погрешностью и максимальным количеством отбракованных коэффициентов принимались за исходные данные, для которых рассчитывались статистические характеристики, объединяемые в многопризнаковые пространства для последующего выполнения процедур безэталонной классификации, позволяющих формализовать локализацию границ участков инженерно-геологических осложнений.

Использование вейвлет-преобразования значений потенциала естественного поля U ЕП не дало значимых различий по сравнению с процедурой осреднения в скользящих окнах, поэтому в дальнейшем выполнялось БВП только дискретных значений КС. Дальнейшие перспективы вы-

Результаты быстрого вейвлет-преобразования значений КС по данным СЭП для трех пороговых значений погрешности (АВ/2=50 м, БКПРУ-2)

Кол-во уровней разложения	Число отбракованных вейвлет-коэффициентов			Отбраковано коэффициентов, %			Фактическая погрешность восстановления сигнала		
	пороговая погрешность			пороговая погрешность			пороговая погрешность		
	1 Омм	2 Омм	3 Омм	1 Омм	2 Омм	3 Омм	1 Омм	2 Омм	3 Омм
3	42	56	56	65,63	87,50	87,50	1,008	1,782	1,782
4	44	60	60	68,75	93,75	93,75	1,011	1,835	1,835
5	44	60	61	68,75	93,75	95,31	1,011	2,026	3,008

Примечание: жирным шрифтом выделены наилучшие параметры БВП.

деления информативных составляющих физических полей, в том числе ЕП, авторы связывают с использованием эмпирической модовой декомпозиции (Empirical Mode Decomposition – EMD). Метод предназначен для частотного представления нестационарных сигналов, как и вейвлет-преобразование, но его отличительной особенностью является отсутствие априорно заданного функционального базиса разложения [4].

Получаемые в результате геолого-геофизических исследований данные, в силу объективных причин, можно считать выборкой одной или нескольких случайных величин. Это позволяет анализировать их статистические характеристики с помощью аппарата теории оценок. Такой анализ существенно увеличивает объем полезной информации, содержащейся в наблюдениях, а также позволяет подчеркнуть особенности изменения геополей и оценить закономерности распределения изучаемого параметра.

Таким образом, появляется возможность повысить эффективность процесса геологической интерпретации и качество конечных результатов в целом [7]. Как показали результаты, анализ статистических характеристик значений U ЕП и КС с помощью аппарата теории оценок позволяет существенно увеличить объем полезной информации и более четко проследить неявно выраженные в наблюдаемых полях особенности геологического строения [10–13].

Характеристики распределения эффективно используются в задачах районирования классификационными программами, в том числе и программного комплекса КОСКАД [8], который использовался авторами для расчета самих статистических характеристик и дальнейшего их анализа методами безэталонной классификации. В качестве примеров приводятся результаты выполнения описанных преобразований для двух участков: первый расположен в пределах шахтных полей БКПРУ, а второй – СКРУ.

Детальные исследования в пределах участка на юго-восточном окончании шахтного поля БКПРУ-2 были выполнены по семи профилям методами ЕП и СЭП (с тремя разносами питающей линии АВ/2:50, 125 и 250 м).

Для выделения зон возможных инженерно-геологических осложнений по единым критериям целесообразно выполнять классификацию общего признакового пространства по всем профилям исследуемого участка. Поэтому значения потенциала ЕП и восстановленные программой НААР_2 значения КС интерполировались в узлы регулярной сети. Различными способами (в скользящем окне, одномерном и двумерном динамических окнах) рассчитывались статистические характеристики интерполированных электрических параметров. Объединением статистик значений потенциала со статистиками восстановленных значений КС формировалось многопризнаковое пространство.

Поскольку СЭП выполнялось с тремя разностями питающей линии АВ, то статистические характеристики значений потенциала ЕП поочередно объединялись со статистиками восстановленных значений КС, полученных при измерениях с разностями АВ/2=50, 125 и 250 м. Таким образом, формировались три многопризнаковых пространства, т.е. по числу разностей АВ. Структура каждого многопризнакового пространства анализировалась с помощью различных методов безэталонной классификации (общего расстояния, динамических сгущений, методом Петрова). Метод динамических сгущений позволил получить наиболее содержательные контуры классов в пределах шахтного поля БКПРУ.

Алгоритм метода динамических сгущений (*k*-средних), реализованный в ПК КОСКАД, представляет собой оригинальный вариант достаточно известного и эффективного метода классификации многопризнаковых наблюдений на заранее известное число классов *k* в условиях минимума информации о начальных центрах классов, известный под названием *k*-средних или *k*-ближайших соседей. В основе метода лежит итерационный процесс, позволяющий объединять в один класс точки,

которые ближе всего (в Евклидовой L2 или L1 метрике) к одному из заранее заданных *k*-эталонов.

Использование статистических характеристик геоэлектрических параметров и методов классификации многомерных данных позволяет более достоверно провести выделение зон инженерно-геологических осложнений. При этом использование быстрого вейвлет-преобразования значений кажущегося сопротивления позволяет уточнить пространственное положение комплексных аномалий.

На карты полученных в пределах БКПРУ-2 результатов классификаций вынесены осложнения волнового поля, которые, по сейсмическим данным, фиксируются в пределах пестроцветной (ПЦТ) или терригенно-карбонатной (ТКТ) толщ (рис.2).

На временных разрезах, полученных в рамках инженерных сейсморазведочных исследований на глубине до 100 м отмечается ряд наиболее динамически выраженных осей синфазности, которые соответствуют целевым сейсмическим отражающим горизонтам (ОГ), приуроченным к кровле: пестроцветной толщи (ПЦТ), терригенного пласта в пестроцветной толще (ОГ1), терригенно-карбонатной толщи

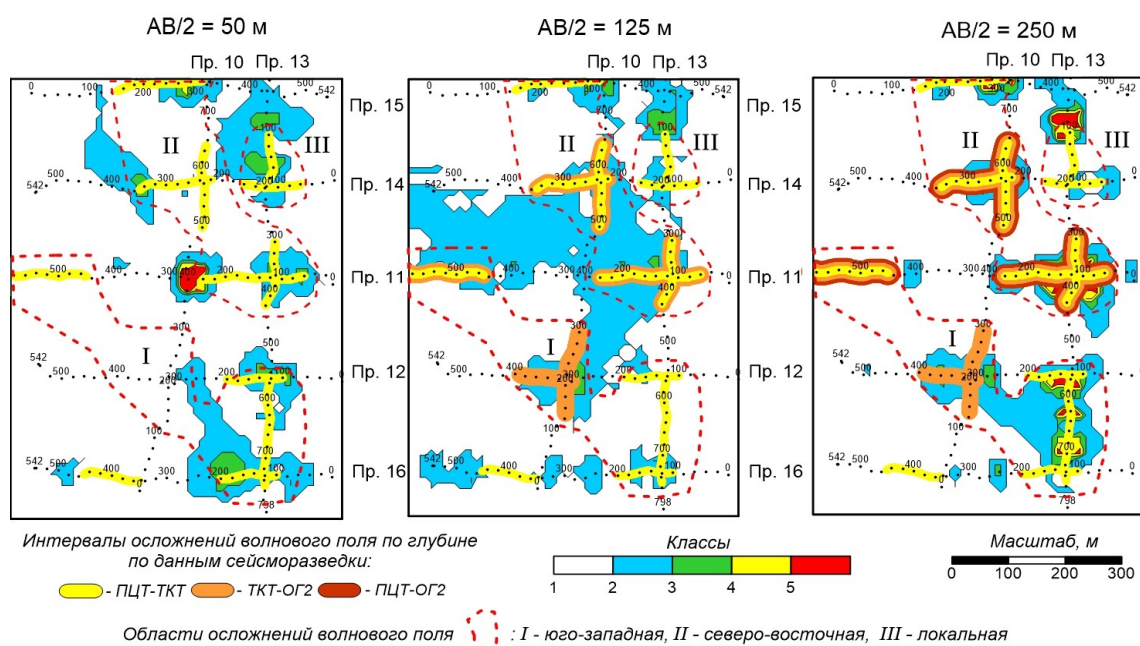


Рис. 2. Результаты классификаций методом общего расстояния по статистикам значений потенциала ЕП и КС. БКПРУ-2

(ТКТк), пласта известняков в верхней части терригенно-карбонатной толщи (ОГ2).

Осложнения волнового поля в пределах участка исследований по сейсмическим данным объединяются в две протяженные (юго-западную и северо-восточную) и одну локальную область. Характер сочетания структурно-физических параметров разреза в пределах осложнений волнового поля предполагает их вероятное техногенное происхождение. Отмечается пространственное совпадение контуров выделенных классов (по данным электроразведки) с осложнениями волнового поля. Это можно рассматривать как косвенное свидетельство о высокой достоверности выполненных преобразований. Контуров классов, полученные на различных разносах питающей линии, позволяют проследить динамику распространения областей нарушенности породного массива с глубиной. На подработанном участке СКРУ-2 в 2015–2016 гг. по 4 профилям ежемесячно выполнялись наблюдения методами ЕП и СЭП на трех разносах АВ/2:50, 100 и 200 м.

Как уже отмечалось для более отчетливого выделения скрытых закономерностей изменения амплитуды поля КС предварительно было выполнено быстрое вейвлет-преобразование (БВП) дискретных значений кажущегося сопротивления с помощью программы НААР_2. Значения потенциала ЕП и восстановленные программой НААР_2 значения КС интерполировались в узлы регулярной сети. В скользящем окне рассчитывались статистические характеристики интерполированных элек-

трических параметров. Статистики значений потенциала ЕП поочередно объединялись со статистиками восстановленных значений КС, полученных при измерениях с разносами АВ/2=50, 100 и 200 м. То есть были сформированы три многопризнаковых пространства, структура которых анализировалась с помощью различных методов безэталонной классификации (общего расстояния, динамических сгущений, по Петрову). В результате анализируемые совокупности были разбиты на однородные, по формальным математическим критериям, классы.

Метод общего расстояния позволил получить наиболее содержательные классы. Рассматриваемый способ классификации многопризнаковых геофизических наблюдений относится к числу эвристических и направлен на решение задачи выделения в многомерном пространстве компактных групп точек. В нашем случае под многопризнаковыми наблюдениями понимаются данные, которые характеризуются различными геолого-геофизическими признаками и их различными трансформантами – статистическими оценками в скользящих окнах. В прикладных задачах автоматической классификации (при отсутствии эталонных объектов) эвристические алгоритмы стали применяться одними из первых и до сих пор сохраняют большое значение благодаря наглядности полученных результатов и, как правило, простоте реализации [7].

На рис. 3 представлены результаты выполнения процедуры классификации с данными, получаемыми ежемесячно

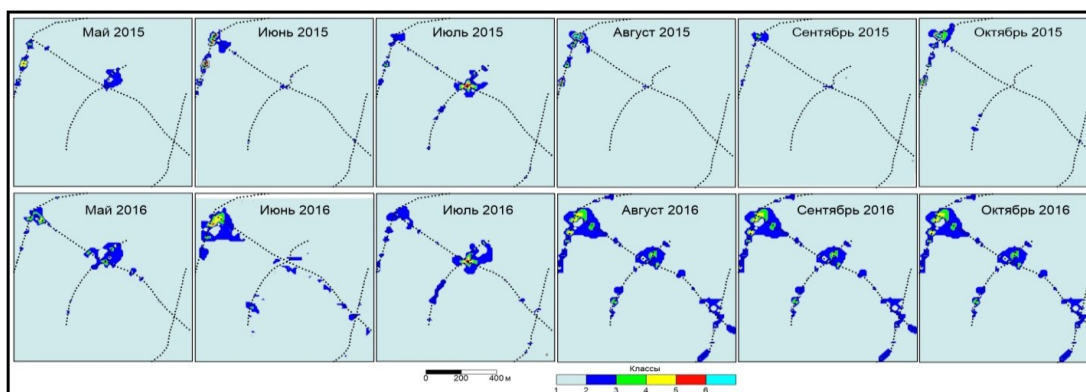


Рис. 3. Результаты классификаций методом общего расстояния по статистикам потенциалов ЕП и КС с разносом АВ/2=50 м. СКРУ-2

(с мая по октябрь) в течение двух лет (2015–2016 гг.) с разносом питающих электродов $AB=100$ м. На рисунке отмечается увеличение площадей контуров 2÷4 классов, полученных в 2015 г., по сравнению с 2016 г. Для разносов $AB=200$ и 400 м выполнялась аналогичная процедура классификации для ежемесячных наблюдений. Контуры классов, полученные на различных разносах питающей линии, вероятно, отражают динамику распространения с глубиной областей нарушения породного массива.

Пространственное положение контуров классов сопоставлялось с результатами сейсмических исследований и газогеохимического опробования. Газогеохимическими аномалиями сопровождаются геологические структуры, а также различные осложнения строения надсоляной части разреза (зоны природно-техногенной трещиноватости), выявленные по результатам сейсмических наблюдений [1].

На пр. 5 в интервале между пк.70÷300; на пр. 6 в интервале между пк.400÷600; на пр. 8 в интервале между пк.240÷520 и на пр. 9 в интервале между пк.480÷620 отмечаются совпадения контуров выделенных классов (по данным электроразведки) с осложнениями волнового поля и контурами газогеохимических аномалий (рис. 4). Это можно рассматривать как косвенное свидетельство о высокой степени достоверности выполненных преобразований.

Анализ статистических характеристик значений потенциала естественного поля и восстановленных после БВП значений кажущегося сопротивления, с помощью аппарата теории оценок, был выполнен и для измерений, полученных на других участках шахтных полей БКПРУ и СКРУ. Исследованы результаты разбиения на классы многопризнакового пространства методами безэталонной классификации.

Результаты, полученные при выполнении процедуры классификации с данными ЕП и СЭП на разносах $AB=200$ и 400 м позволяют предположить, что глубина вертикальных перетоков ограничена терригенно-карбонатной толщей. То есть контуры



Рис. 4. Результаты интерпретации данных сейсморазведки и газогеохимического опробования

классов, полученные на различных разносах питающей линии, позволяют проследить динамику распространения областей нарушения породного массива с глубиной, как уже отмечалось на БКПРУ-2.

Таким образом, использование процедур безэталонной классификации позволило разбить анализируемые совокупности на однородные, по формальным математическим критериям, классы, пространственно отвечающие участкам возможных инженерно-геологических осложнений, что крайне затруднительно по результатам только качественного анализа полевых наблюдений.

В результате выполненных исследований в пределах ВКМКС [9–13] был определен эффективный набор процедур и последовательность их применения при обработке и интерпретации данных электрометрических наблюдений, схематичное отображение которых приводится на рис. 5.

Анализ статистических характеристик значений потенциала естественного поля и кажущегося сопротивления с помощью аппарата теории оценок позволяет существенно увеличить объем полезной информации и более четко проследить неяв-



Рис.5. Схема последовательности выполнения преобразований

но выраженные в наблюдаемых полях особенности геологического строения.

Интерпретация многомерных данных по формальным признакам позволяет повысить достоверность выводов о геологической природе изучаемых явлений и процессов и более обоснованно выделить зоны инженерно-геологических осложнений.

Геологическое истолкование электроразведочных материалов требует учета конкретной ситуации – литологического состава пород, возможных фациальных изменений, степени минерализации вод и т.п. Часто в результате существующих причинно-следственных связей общий эффект от влияния разных факторов усиливается, например, при гидрогеологических исследованиях повышение трещиноватости и разуплотненности пород увеличивает количество водосодержания, что, в свою очередь, более активизирует процессы выщелачивания пород, повышая тем самым минерализацию водных растворов.

Совокупное наличие этих факторов, каждый из которых направлен на уменьшение сопротивления породы, приводит к суммарному эффекту, проявляющемуся в образовании резко выраженных аномалий пониженного электрического сопротивления, что является диагностическим признаком для картирования подобных зон при интерпретации ВЭЗ.

В то же время породы, обладающие хорошей фильтрационной способностью (пески, галечники, выветрелые известняки и др.), являются наиболее изменчивы-

ми по сопротивлению, величина которого, вследствие разной степени их водонасыщения и минерализации вод, может колебаться в значительных пределах (до нескольких порядков) [6, с. 150–152]. При интерпретации СЭП контуры выделенных классов помогают более достоверно определить границы зон развития описанных процессов. Наиболее содержательные классы, полученные над пестроцветной толщей (в пределах БКПРУ-2), характеризуются устойчивыми пониженными средними значениями сопротивления. На СКРУ-2 средние значения в пределах контуров геологически содержательных классов неустойчивы во времени и могут отличаться от фоновых значений в сторону увеличения. Классы более четко, чем средние значения исходных параметров электрических полей, отражают контрастные по физическим свойствам зоны.

Минерализация вод, существенно влияющая на электрическое сопротивление, практически не сказывается на упругих свойствах, плотности пород, и других характеристиках, поэтому сопоставление результатов выполненных преобразований электроразведочных данных с результатами других методов исследований позволяет оценить вклад этих преобразований в повышение достоверности выделенных зон.

В результате выполненных исследований выработана методика применения процедур вейвлет-преобразования и классификации статистических характеристик

параметров электрического поля для эффективного решения задач картирования пространственных границ участков инженерно-геологических осложнений в пре-делах площадей комплексных геолого-геофизических мониторинговых наблюдений потенциально-опасных по карсто-и техногенным проявлениям.

Библиографический список

1. Бачурин Б.А., Борисов А.А. Современные газогеохимические технологии контроля процессов техногенеза при освоении ресурсов Верхнекамского региона // Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 78–82.
2. Долгаль А.С. Использование быстрого вейвлет-преобразования при решении прямой задачи равиразведки // Докл. Акад. наук. – 2004. – Т. 399. – № 8. С. 1177–1179.
3. Долгаль А.С, Симанов А.А. Применение кратномасштабного вейвлет-анализа при аналитических аппроксимациях геопотенциальных полей // Докл. Акад. наук. – 2008. – Т. 418. – № 2. – С. 256–261.
4. Долгаль А.С., Христенко Л.А. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2017. – Т. 328. – № 1. – С. 100–108.
5. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – № 3. □ С. 465–501.
6. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований – М.: Научный мир. 2007. – 248 с.
7. Петров А.В., Солоха Е.В. Технология анализа геополей в скользящих окнах // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 33-й сессии Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского. – Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. – С. 272–275.
8. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2010. – №2. Вып.16. – С. 126–132.
9. Христенко Л.А. Использование вейвлет-преобразования при интерпретации электроразведочных данных (на примере ВКМКС) // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. статей юбилейной конф., посвящ. 100-летию Перм.ун-та и 85-летию геол. ф-та / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. – С. 143–146.
10. Христенко Л.А., Степанов Ю.И., Кичигин А.В., Паршаков Е.И., Тайницкий А.А., Ширяев К.Н. Совершенствование интерпретации данных мониторинговых электроразведочных наблюдений с помощью аппарата теории оценок // Инженерная геофизика 2017: материалы 13-й науч.-практ. конф. и выставки. – Кисловодск, 2017. – DOI 10.3997/2214-4609.201700419. Электрон. изд. режим доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140>. Code 129037.
11. Hristenko L., Stepanov Yu. Probabilistic-statistical methods of data interpretation of electrical prospecting EP and SEP in the solution of geological engineering problems // 14th EAGO International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2015. – Kiev, 2015. – DOI: 10.3997/2214-4609.201412371.
12. Hristenko L., Stepanov Yu., Kichigin A., Parshakov E., Tainitsky A. Interpretation of electroprospecting monitoring observations with use of probabilistic-statistical characteristics // Engineering and mining Geophysics 2018: 14th Conference & Exhibition, 23-27 april 2018. – Almaty, 2018. – code 137600.
13. Khristenko L.A., Stepanov Ju.I., Kichigin A.V., Parshakov E.I., Tainickiy A.A. Shiryayev K.N. Using of Probabilistic-Statistical Characteristics in the Interpretation of Electrical Survey Monitoring Observations // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields: Proceedings of the 45th Uspensky International Geophysical Seminar, – Kazan, 2019. – P. 313–320.

IMPROVING THE METHODS OF INTERPRETING ELECTRICAL MONITORING OBSERVATIONS TO IDENTIFY AREAS OF ENGINEERING GEOLOGICAL COMPLICATIONS

L.A. Khristenko, Ju.I. Stepanov, A.V. Kichigin, E.I. Parshakov, A.A. Tainickiy

Mining Institute UB RAS

The aim of the research was to increase the reliability and informativeness of the results of interpreting natural and artificial electric fields using wavelet transforms and methods of probabilistic-statistical approach. The obtained results showed that the use of wavelets allows us to identify and

describe the hidden features of signals, to obtain convenient for the analysis of the presentation of graphs of values of apparent resistance, with different details of their consideration. The data obtained as a result of geologic-geophysical researches, owing to the objective reasons, can be considered a sample of one or several aleatory variables. This allows analyzing their statistical characteristics by means of the theory of estimates. Using the apparatus of the theory of assessments allows you to describe (in a formalized form), compare and divide into classes geological objects. The traditional interpretation of field measurement data of the natural field and electric profiling, most often based on qualitative analysis or on the simplest methods for estimating the depth and size of anomalous bodies, leads to ambiguous conclusions about the presence and nature of the phenomena that caused changes in the observed parameters. Objectivity of quantitative assessments gives fundamentally different results of interpretation of the observed objects and processes and helps to increase the reliability of conclusions about the geological nature of the occurrence of the phenomena and processes under study. New approaches to the interpretation of electrical profiling data have been created, which make it possible to significantly increase the amount of useful information, more clearly trace the features of the geological structure implicitly expressed in the observed fields and increase the accuracy of the forecast of catastrophic phenomena. A procedure has been developed for applying wavelet transform and classification procedures to effectively solve the problems of mapping the spatial boundaries of engineering-geological complications within areas of complex geologic-geophysical monitoring observations of potentially hazardous karst and man-made manifestations.

Keywords: natural electric field, apparent resistance, statistical characteristics, the non-standard classification, wavelet-transformation, engineering-geological complications.

Сведения об авторах

Христенко Людмила Анатольевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, научный сотрудник, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (ГИ УрО РАН), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: liudmila.hristenko@yandex.ru
Кичигин Александр Валерьевич, инженер ГИ УрО РАН; e-mail: Volosianka@rambler.ru
Паршаков Евгений Иосифович, инженер, ГИ УрО РАН; e-mail: mcgold90@mail.ru
Тайницкий Александр Александрович, инженер, ГИ УрО РАН; e-mail: tainickiy@mail.ru

Материал поступил в редакцию 27.06.2019 г.