

ШЕВНИН В.А., БОБАЧЕВ А.А., ПАВЛОВА А.М., ЯЛОВ Т.В.

ИЗУЧЕНИЕ СЛАБОЙ АНИЗОТРОПИИ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЕОДОЛИНЫ В АЛЕКСАНДРОВКЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Введение

В течение многих лет азимутальные измерения анизотропии сопротивлений применялись на Крымской учебной практике, что способствовало развитию методики работ, теории, появлению новых установок метода сопротивлений. Перенос практики из Крыма в Калужскую область серьезно затруднил изучение анизотропии. Была сделана попытка изучения анизотропии рыхлых отложений Александровского плато зимой 1998 и 1999 годов, лишь 20% измерений дали превышение анизотропии над неоднородностью. Работы возобновились с методом ДИП осенью 2011 года на пойме р.Вори используя по несколько наблюдений по каждому азимуту и осредняя их результаты [Изучение..., 2012]. На этом же участке поймы, вдоль русла палеодолины были проведены наблюдения методом ЕП (анизотропия гидравлической проводимости) и методом ДЭП (с дипольной экваториальной установкой), в последнем случае проводились измерения без накопления и с накоплением наблюдений по каждому азимуту. В настоящей работе проведено сравнение некоторых результатов трех этих методов, когда измерения проводились в тех же точках.

История вопроса

В 1998-99 гг в период зимних практик студентов МГУ были проведены первые исследования анизотропии на Александровском плато с установками метода сопротивлений. Результаты были опубликованы (Bobachev et al., 2000). Работы на Александровском плато показали, что анизотропия четвертичных ледниковых отложений очень мала ($\lambda < 1.1$, в среднем 1.06), влияние неоднородностей велико и лишь в 23% случаев влияние анизотропии может быть выделено на фоне влияния неоднородностей, а в остальных случаях не может. Новый цикл измерений был начат в 2011 году на пойме реки Вори, где анизотропия сопротивления может быть вызвана ориентацией зерен или "свитых следов потока" - по Сауку и Забику [Sauck and Zabik, 1992], а анизотропия аномалий естественного электрического поля (ЕП) вызвана распределением гидравлической проводимости и направленной фильтрации подземных вод [Wishart, 2008]. Эта работа велась параллельно с подготовкой книги по анизотропии [Изучение анизотропии..., 2012], которая потребовала повторного изучения многих российских и зарубежных публикаций по теме анизотропии и дала возможность заново оценить проблему анизотропии.

Результаты полевых азимутальных измерений

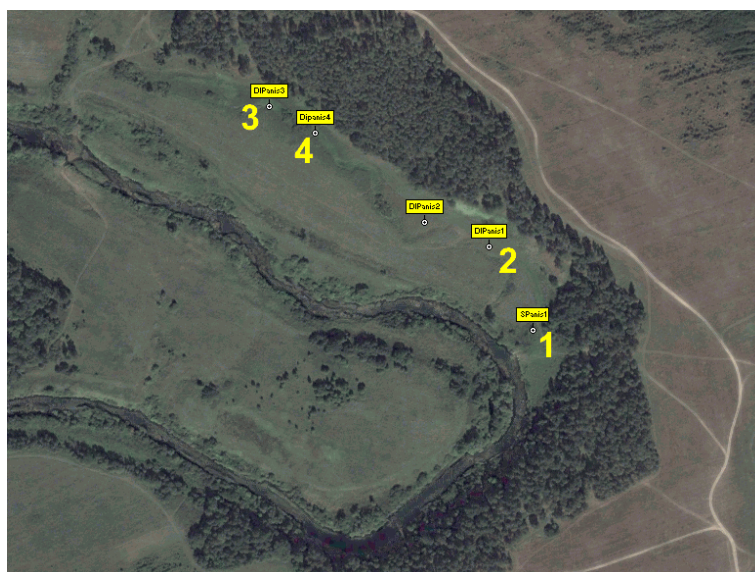


Рис. 1 Карта фактического материала на пойме р. Вори - положение точек изучения анизотропии.

Точка 1 (Рис.1) была первой, с которой начали азимутальные измерения на пойме. Вблизи этого места, ручей, протекавший с востока на запад, исчезал в грунте, и дальше поверхностного стока не было, только подземный, который прослеживался в виде мелких родников в левом берегу Вори. Изучение поймы на фотоснимках и пешком, показало, что в ее восточной части проходит низина, сначала широкая с пологими бортами, а потом узкая, как каньон. Она резко поворачивает на ЮЗ в сторону русла Вори после точки 2. В 2012 году во время учебной практики были проведены измерения кажущегося сопротивления методом ДИП с EM-34 и построена карта ρ_k (Рис.2). Красным пунктиром на карте показано современное русло временных потоков и оказалось, что в северо-западной части это русло совпадает с широкой зоной пониженных сопротивлений, а в юго-восточной части узкая низина и зона низких сопротивлений разделяются и последняя уходит под уступ ледниковых отложений высотой над поймой в 10 и более метров. Мы полагаем, что проводящая зона это старая долина еще доледникового возраста. Направленный поток воды по старому руслу мог создать ориентацию осадков или зерен, которая может отразиться на азимутальных диаграммах. Поэтому в разных местах были проведены азимутальные измерения ДИП [Каринский и др., 2012], ДЭП и ЕП [Шевнин и др., 2012], каждый вид измерений выполнялся по своей методике.

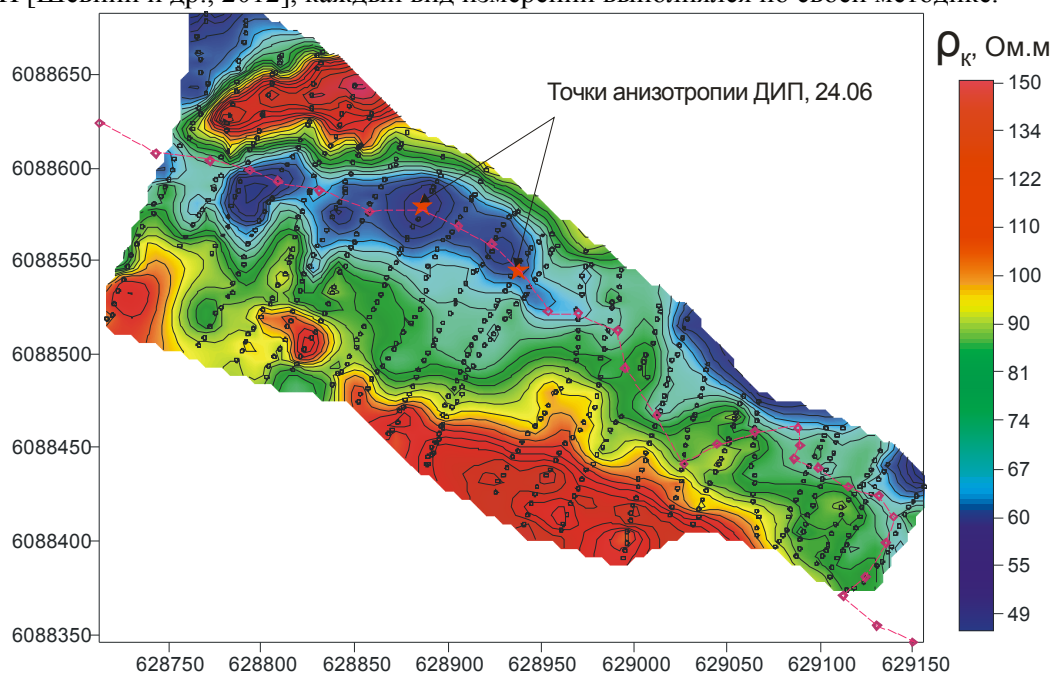


Рис. 2 Карта кажущихся сопротивлений поймы Вори по ДИП, июнь 2012.

В 2011 году были начаты измерения анизотропии с помощью метода ЕП (2 точки N 1-2 - Рис.1), а затем и ДИП на пойме р. Вори (2 точки N 3 и 4). Азимутальные измерения ДИП были проведены с накоплением (Рис.3). Измерения по каждому азимуту выполнялись по короткому профилю из 15 точек с шагом 5 м, в центре (в точке отнесения результата) эти профили пересекались. Накопления выполнялись относительно центра (симметрично) либо для левой и правой частей профиля (асимметрично). Для метода ДИП эта методика оказалась удачной, сейчас началось опробование и отладка аналогичной методики накопления для ДЭП.

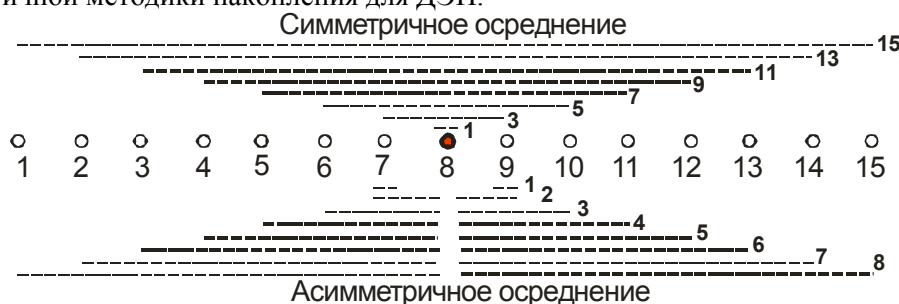


Рис. 3 Профиль из 15 точек и схема симметричного (вверху) и асимметричного (внизу) накопления.

Одной из форм представления азимутальных измерений результатов были карты ρ_k ДИП (Рис.4), дающие представление о степени неоднородности участка азимутальных измерений. Палеодолина (отмечаемая по низким сопротивлениям) имеет ширину на Рис.4 около 40 м. Если

накопление значений выходит за интервал осреднения 40 м, начинается влияние окружающих палеодолину пород.

Для выбора мест изучения анизотропии, в июне 2012 было проведено картирование поймы Вори методом ДИП на площади примерно 500 * 150 м (Рис.2) и намечены места для двух новых точек ДИП (N 3-4 - Рис.1) в пределах палеоруслу. Эти две точки были измерены в конце июня 2012 г. После этого, в 2012 году на точках ДИП были проведены измерения анизотропии с дипольной экваториальной установкой (ДЭП) (N 1-2-3-4 - Рис.1) для сопоставления с данными ЕП и ДИП.

Установка ДЭП: $R=15$ м, $AB=MN=3.88$ м, $K=1308$ м, ток 50 мА, дипольность (отношение $R/AB=3.87$ - его нужно указывать в программе AnisHarm для правильной оценки коэффициента анизотропии при интерпретации) [Перваго, 1998]. Программа AnisHarm оценивает параметры анизотропии диаграмм на основе их спектров. Используется 15 лет, мы убедились, что ей можно доверять.

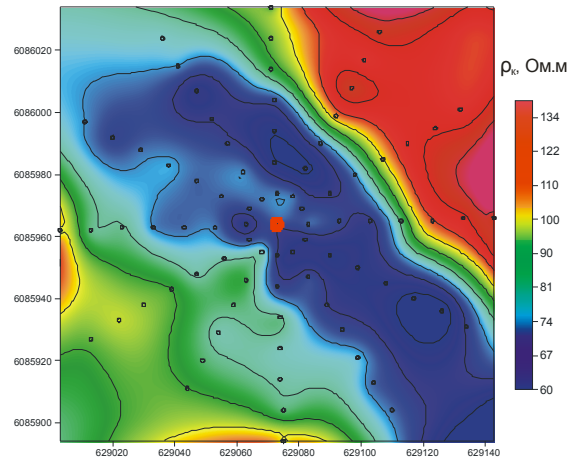


Рис. 4 Представление азимутальных измерений ДИП в виде карты ρ_k для точки 2 с рис.1.

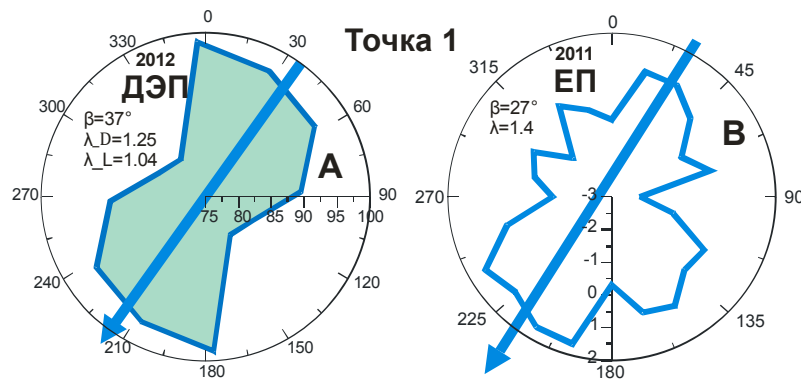


Рис. 5 Точка анизотропии 1 (у купальни), справа ЕП, слева ρ_k ДЭП. Азимут ЕП - 27°, азимут ДЭП 37°, есть сходство. Величина $\lambda(ЕП)=1.4$, $\lambda(ДЭП)=1.04$.

Сравнение азимутальных измерений

Проблема первых измерений ДЭП состояла в отсутствии накопления, поэтому было велико влияние случайных неоднородностей.

В точке 1 (Рис.1) получено удовлетворительное совпадение азимутов диаграмм ЕП и ДЭП (Рис.5)

В точке 4 (Рис.1) простирание анизотропии по ДИП и ДЭП сходно (Рис.6). При этом по ДЭП построена диаграмма ρ_k , а по ДИП - диаграмма кажущейся проводимости σ_k , так как для ДЭП есть парадокс анизотропии (длинная ось эллипса ориентируется по простиранию анизотропии), для σ_k ДИП парадокса анизотропии нет [Шевнин, Каринский, Ялов, 2012], длинная ось эллипса проводимости ориентируется по простиранию анизотропии.

Аналогично сопоставлены результаты ДИП и ДЭП для точки 3 (Рис.7).

Таким образом, из 4 точек анизотропии ДЭП есть сходство в простираниях с ЕП и

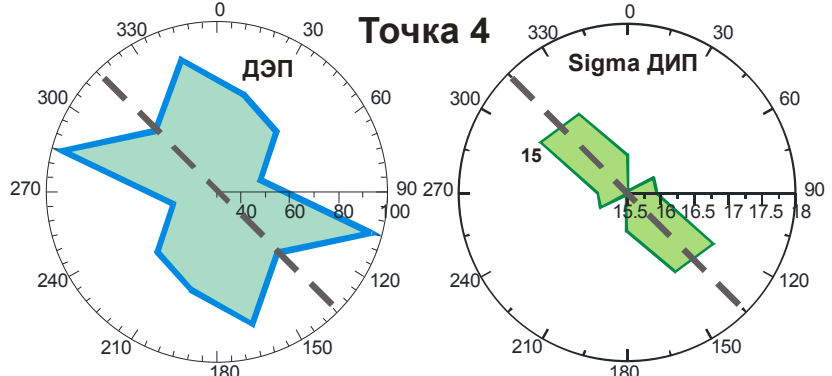


Рис. 6 Точка анизотропии ДИП 2012 года - 4 (2). Справа диаграммы кажущейся проводимости ДИП для осреднения по 15 точкам, слева - диаграмма ρ_k ДЭП, есть сходство в ориентации. $\lambda(ДЭП)=2.1$, $\lambda(ДИП)=1.04-1.1$.

ДИП в трех случаях, в точке 1 года похожи ЕП и ДЭП (Рис.5), в точках 3 и 4 похожи ДИП и ДЭП (Рис.6-7). В точке ДИП 3 оценки азимута простираения анизотропии были проведены по диаграммам ρ_k и σ_k (Рис.9). С ростом накопления оценки сошлись. В точке ДИП-2 (Рис.1) азимут простираения анизотропии по ДИП и ЕП удовлетворительно совпадает, а по ДЭП отличается (Рис.8).

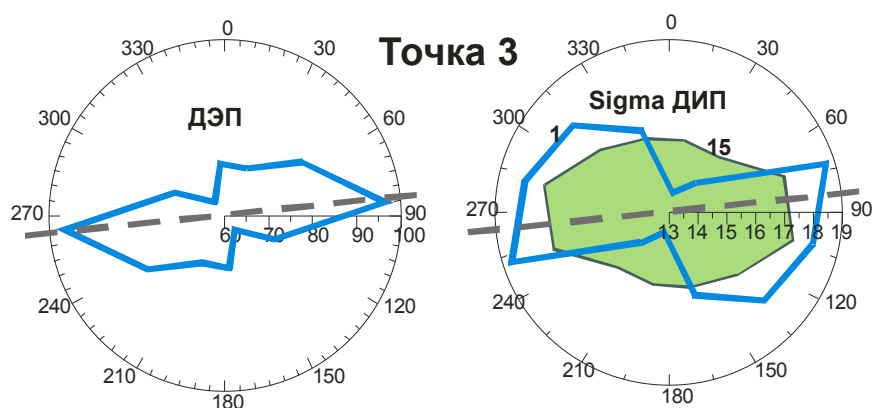


Рис. 7 Точка анизотропии ДИП - 3. Справа диаграммы кажущейся проводимости ДИП для 1 точки (синяя линия) и для осреднения по 15 точкам (зеленый контур), слева - диаграмма ρ_k ДЭП, есть некоторое сходство в ориентации. В ДЭП пока не хватает осреднения для подавления влияния неоднородностей. $\lambda(\text{ДЭП})=1.25$, $\lambda(\text{ДИП})=1.13$.

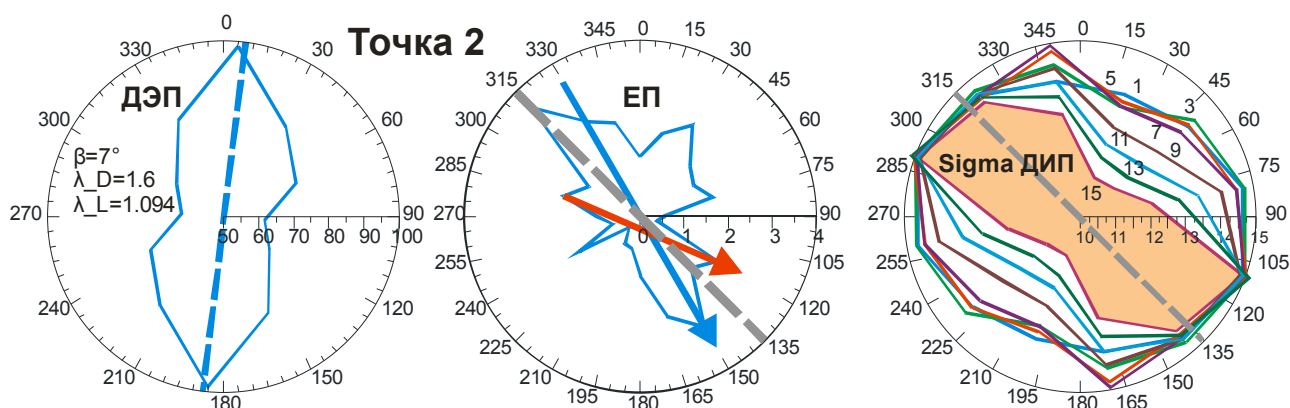


Рис. 8 Точка анизотропии ЕП и ДИП номер 2 в 100 м к СЗ от точки 1. Слева ρ_k ДЭП 2012, в середине ЕП 2011, и диаграммы каж. проводимости ДИП сентября 2011 года. Простираения ЕП и ДИП похожи, а простираение ДЭП от них отличается. Высоко влияние неоднородностей. $\lambda(\text{ДЭП})=1.094$, $\lambda(\text{ЕП})=1.84$, $\lambda(\text{ДИП})=1.094-1.418$ (для разных осреднений).

Точки азимутальных измерений ДЭП 2 и 3 были размещены на пойме р. Вори, вблизи палеодолины, в местах, где ранее были проведены азимутальные измерения ДИП-4 (Рис.10). Впервые для этих точек измерения были выполнены с накоплением, как для получения симметричных накоплений, так и асимметричных. В последнем случае можно посчитать относительное влияние анизотропии и

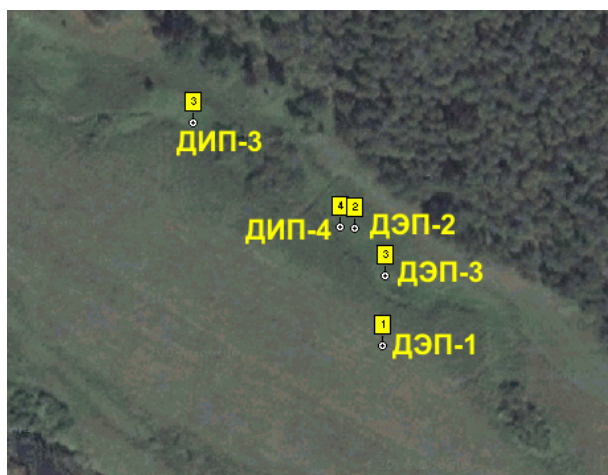


Рис. 10 Расположение точек измерения анизотропии ДИП (точки 3-4) и ДЭП (точки 2, 3, 1 с накоплением). Точки ДЭП 2-3 сравниваются с ДИП-4.

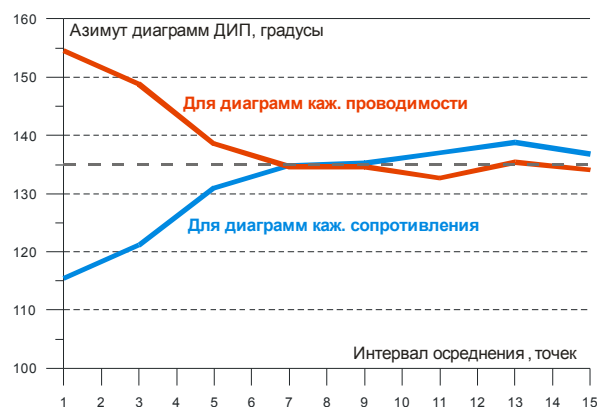


Рис. 9 Влияние накопления на устойчивость оценки азимута диаграмм ДИП при использовании диаграмм ρ_k и σ_k . Точка ДИП-3. Азимуты ρ_k и σ_k приведены друг к другу, без этого они взаимно перпендикулярны.

неоднородности по параметру O/E ratio [Перваго, 1998]. Расстояние между электродами АВ и MN=2 м, разнос 10 м, шаг 4 или 8 м по профилю. Глубина - 2.5 м.

Результаты азимутальных ДЭП с накоплением

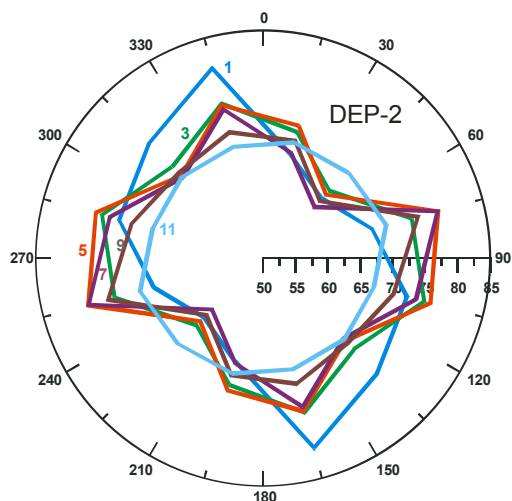


Рис. 11 Азимутальные диаграммы для точки ДЭП-2 при осреднении от 1 до 11.

На рис.11-12 показаны диаграммы анизотропии ДЭП 2 и 3 с разным накоплением от 1 до 11 (ДЭП-2) и от 1 до 6 (ДЭП-3). Фигуры сильно изломаны, что отражает влияние неоднородностей.

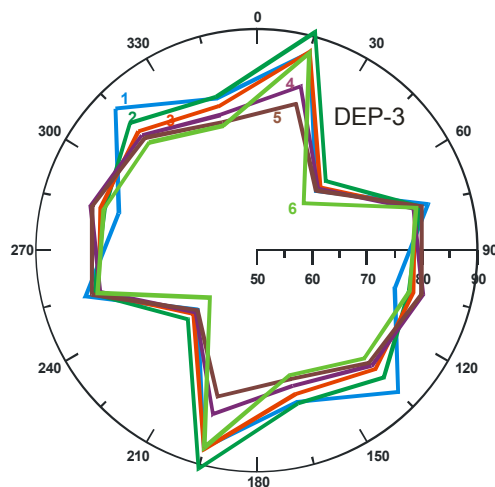


Рис. 12 Азимутальные диаграммы для точки ДЭП-3 при осреднении от 1 до 6.

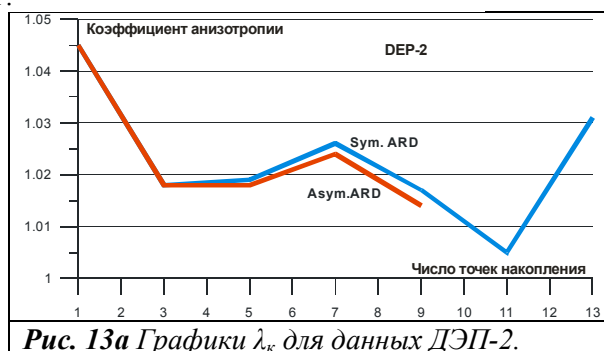


Рис. 13а Графики λ_k для данных ДЭП-2.

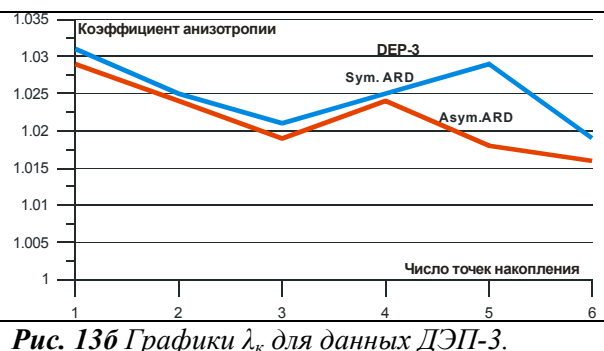


Рис. 13б Графики λ_k для данных ДЭП-3.

На рис.13 показаны графики кажущегося коэффициента анизотропии в зависимости от интервала осреднения, определенного по симметричным (синяя линия) и асимметричным (красная) диаграммам. Величины λ_k очень маленькие (1.02-1.025). Вероятно, для рыхлых осадков это нормально, но по ДИП λ_k были чуть больше (1.04-1.07). Не исключено, что это было связано с разной глубиной, для ДИП глубина 7.5 м, для ДЭП - 2.5 м.

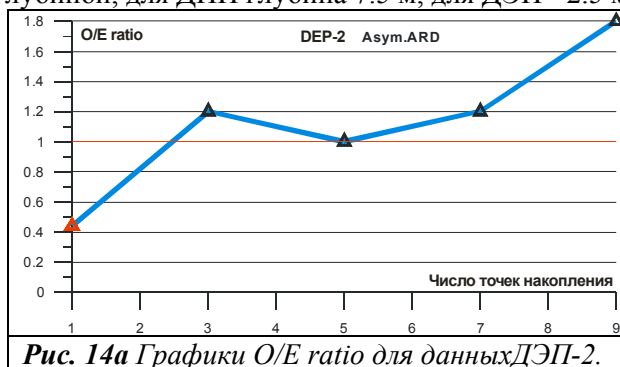


Рис. 14а Графики O/E ratio для данных ДЭП-2.

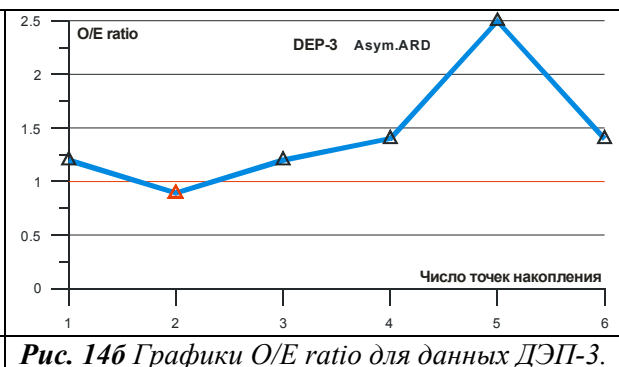


Рис. 14б Графики O/E ratio для данных ДЭП-3.

На рис.14 показаны отношения нечетных к четным суммам гармоник спектра азимутальных диаграмм (O/E ratio). Для ДЭП-2 без осреднения преобладает анизотропия (0.4), а с осреднением (преобладает неоднородность). Для точки ДЭП-3 меньше 1 лишь для осреднения 2, в других случаях преобладает влияние неоднородности. Пока результаты противоположны тем, которые мы хотели получить. Необходимо продолжать поиски параметров установки ДЭП и накопления. Результаты ДЭП пока хуже, чем результаты ДИП.

В заключение покажем два рисунка 15 и 16 с указанием простирания анизотропии по ДИП (в точке 4) и по ДЭП (2 из). Различие достигает 15° из-за очень слабого коэффициента анизотропии. Но

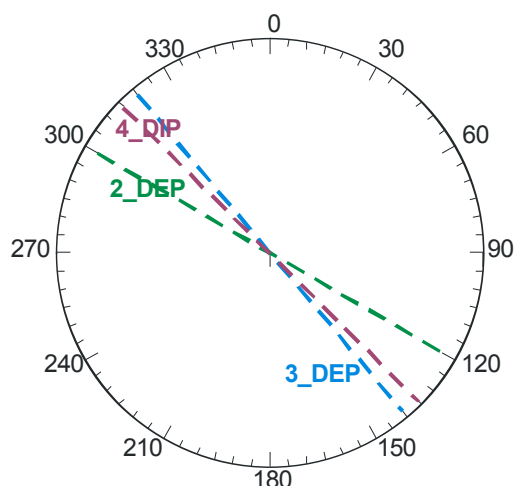


Рис. 15 Простирации анизотропии для ЛЭП 2 и 3 и ЛИП-4 (вблизи ЛЭП-2).

как видно на фотокарте этого участка (Рис.16) направления простирации анизотропии удовлетворительно совпадают с направлением палеодолины, видимой на снимке.

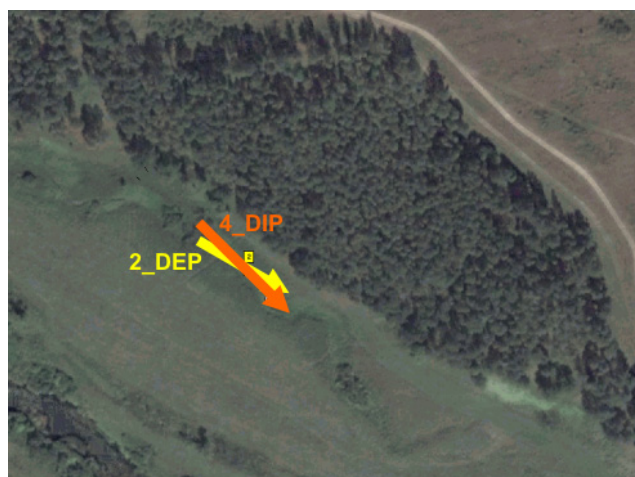


Рис. 16 Простирации анизотропии для ДЭП и ДИП на фоне палеорула.

Выводы

Когда степень анизотропии незначительна, то этот слабый эффект сложно выделить на фоне влияния неоднородностей. Можно усилить влияние анизотропии, применяя установки метода сопротивлений с повышенной чувствительностью к анизотропии. Но этого может быть недостаточно. В качестве дополнительной меры рекомендуется применять накопление измерений по каждому азимуту, этот прием был опробован сначала для метода ДИП, а потом для ДЭП.

Литература

Изучение анизотропии в методе сопротивлений. Учебное пособие - Тверь: Издательство Полипресс, 2012. 164 с. Под ред. проф. В.А. Шевнина. ISBN 978-5-904807-14-6 Авторы: Бобачев А.А., Большаков Д.К., Модин И.Н., Мусатов А.А., Перваго Е.В., Шевнин В.А., Акуленко С.А. Ерохин С.А., Павлова А.М.

Каринский А.Д., Шевнин В.А., Ялов Т.В. Изучение азимутальной анизотропии сопротивления среды методом дипольного электромагнитного профилирования (ДИП). VIII международная научно-практическая конференция и выставка "Инженерная геофизика - 2012". Геленджик. 10 с.

Перваго Е.В. Влияние анизотропии и неоднородностей на результаты электрических зондирований. Дисс. на соиск. уч. ст. к. ф.-м. н. М., МГУ, 1998. 83 с.

Шевнин В.А., Ерохин С.А., Павлова А.М. Изучение анизотропии гидравлической проводимости с помощью азимутальных измерений в методе естественного поля. VIII международная научно-практическая конференция и выставка "Инженерная геофизика - 2012". Геленджик. 8 с.

Шевнин В.А., Каринский А.Д., Ялов Т.В. Изучение азимутальной анизотропии сопротивления среды с помощью метода ДИП. Журнал "Геофизика", 2012, N3, с. 41-47

Bobachev A. A., Bolshakov D. K., Modin I. N., Shevnin V.A. Glacial sediment resistivity anisotropy measurements (Kaluga region, Russia). Proceedings of 6th EEGS-ES Meeting in Bohum, Germany, September 2000. P-CH03. 4 p.

Sauk W.A. and Zabik S.M. 1992. Azimuthal resistivity techniques and the directional variations of hydraulic conductivity in glacial sediments. *Proceedings of SAGEEP 1992*, Oakbrook, Illinois, pp. 197-222.

Wishart D. N. Hydraulic Anisotropy Characterization of Fracture-Dominated Media using Azimuthal Self Potential. Ph.D. Thesis. 197 pp., 2008.

Контактная информация

Шевнин Владимир Алексеевич shevninvlad@yandex.ru