

**Электроразведка**  
**естественными постоянными**  
**электрическими полями (ЕП)**

**Шевнин Владимир Алексеевич**  
**[shevninvlad@yandex.ru](mailto:shevninvlad@yandex.ru)**

# Немного истории

Первая важная работа по электроразведке методом ЕП выполнена англичанином **Робертом Фоксом** (1789 - 1877), который, обладал знаниями геологии, изучал температуру Земли, электричество и земной магнетизм и считается **дедушкой геофизики**. В шахтах Корнуолла он наблюдал существование **естественных электрических токов**, вызванных наличием сульфидных жил. Для этого он сконструировал **первый потенциометр**, используя **мостовую схему**. В его бумагах была найдена следующая запись: «Кажется вероятным, что электромагнетизм окажется полезным в практике горного дела, давая с некоторой степенью вероятности относительное **количество руды** в жиле, и **направление** в земле **к наибольшей концентрации руды**»

Robert Were Fox the Younger



*Robert Were Fox*

# Продолжение истории

В 1912 г. два брата Конрад и Марсель Шлюмберже работавшие во Франции получили патенты на 4 метода электроразведки, а потом еще на 2. Среди них был метод ВЭЗ (Вертикального электрического зондирования), ЭП (электропрофилирования), ЕП (метод естественного электрического поля) и ВП (метод вызванной поляризации). Уже в 1913 г. в местечке Бор в Сербии они нашли месторождение сульфидов, это было первое в мире открытие немагнитной руды с помощью геофизики (методом ЕП).

# Как измерить ЕП?

Нужен измеритель напряжения (милливольтметр) с точностью **0.1 мВ** и высоким входным сопротивлением. Р.Фокс использовал для таких измерений мостовую схему.

Нужны два электрода, обладающие стабильным собственным потенциалом, называемые неполяризующимися. Такие электроды изобрел гражданин России финн **Карл Альфред Брандер** (Палохеймо) в **1887** году. Как же измерял Р.Фокс в 1833? Сведений у меня нет.

Нужны провода в изоляции, соединяющие вольтметр и электроды.

О происхождении естественных постоянных электрических полей мы говорили на лекции об электрических свойствах пород. Три процесса в земле могут давать аномалии ЕП: окислительно-восстановительный (**ОВ**), диффузионно-адсорбционный (**ДА**) и фильтрационный (**Ф**).

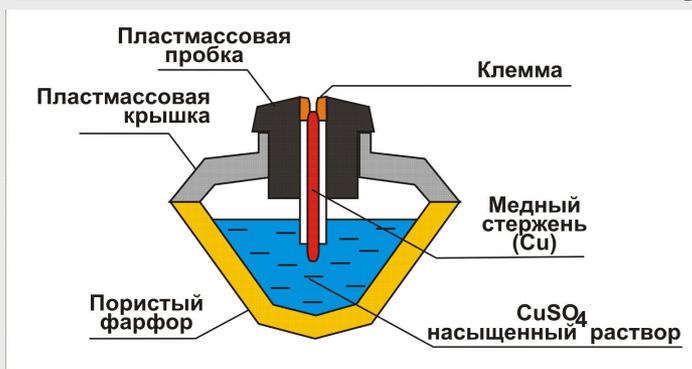
Можно записать общую формулу для аномалий ЕП в такой форме:

*Результат = Причина \* размерный коэффициент*

"**Результат**" это потенциал ЕП (U, мВ). **Причины** для трех процессов разные. Для ОВ аномалий причиной считают разницу величин рН ( $\Delta$  рН). Для фильтрационных аномалий причиной считают перепад давления на участке пористой среды ( $\Delta P$ ), что приводит к фильтрации жидкости. Для ДА аномалий причиной считают контраст соленостей (или сопротивлений).

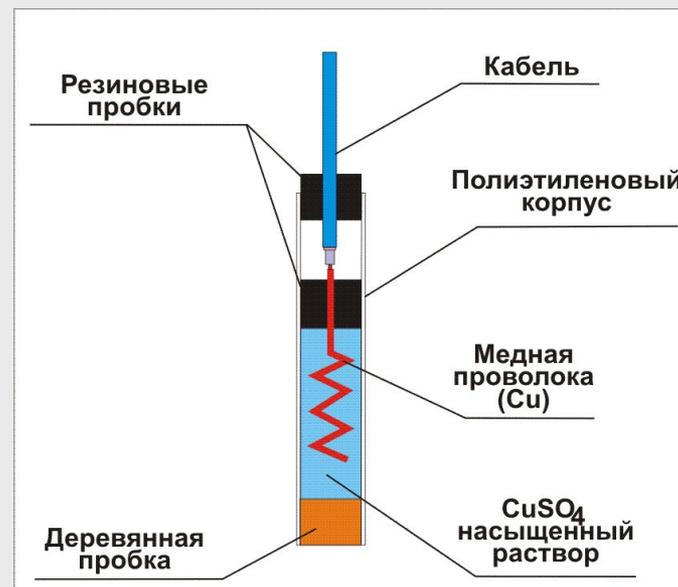
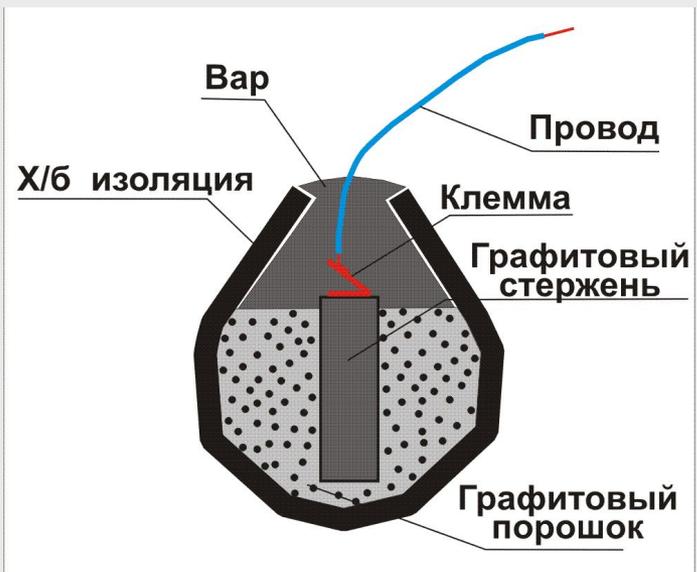
# Неполяризующиеся электроды

НП электрод состоит из металла, находящегося в растворе своей соли и вся система помещена в пористый сосуд для контакта с землей.



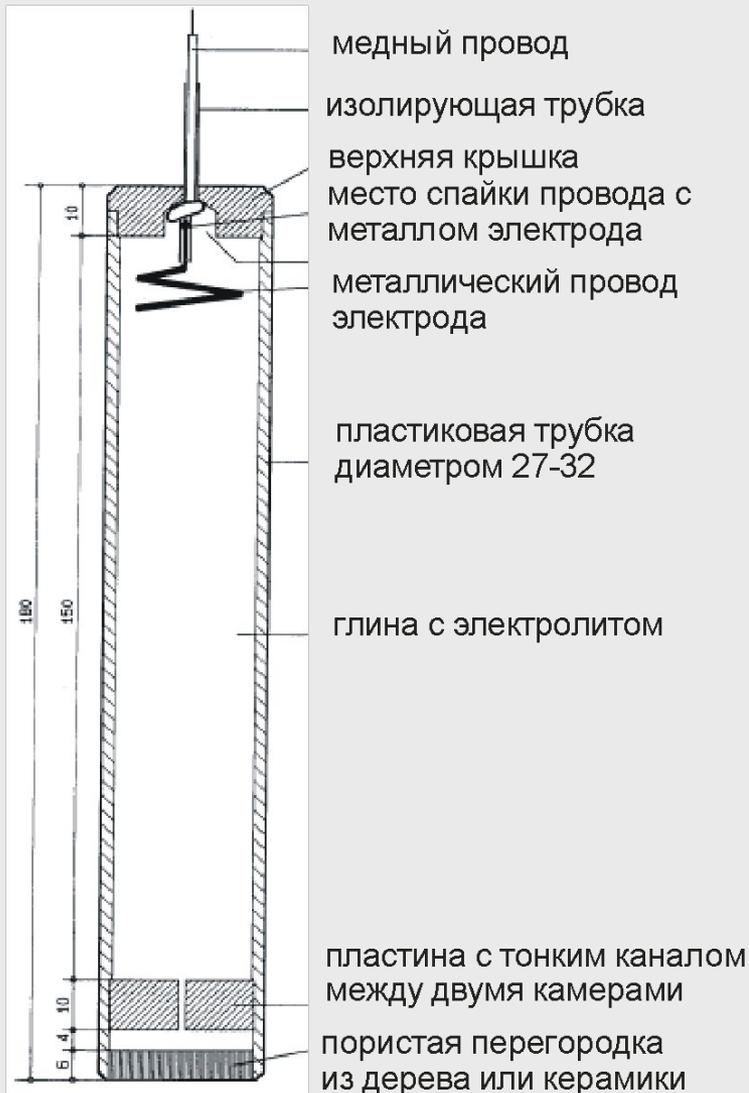
Слева - Неполяризующийся электрод конструкции ВИРГ (Медь и медный купорос)

Справа - Неполяризующийся электрод для акваторных работ



Слева - Неполяризующийся электрод, применяемый МГУ для метода МТЗ. Изготовлен из батарейки, снят цинк.

# Электроды второго поколения Жильбера Петье (Gilbert Petiau)



НП Электроды из свинца в растворе хлорида свинца. Были закуплены во Франции и оказались в МГУ в мае 2013. Первая задача состояла в том, чтобы проверить, так ли хорош электрод Петье?. Сползание нуля потенциала электрода 0.2 мВ в месяц! Электрод используется без перезарядки 15 лет.

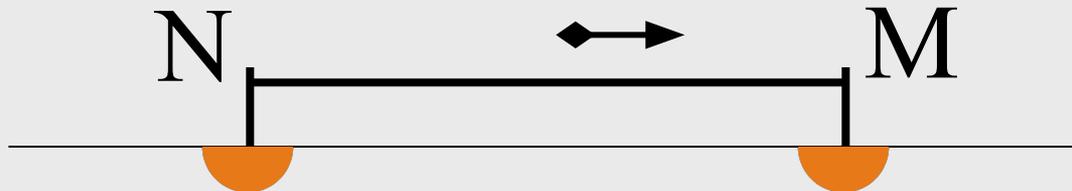
Эти электроды сильно изменили методику измерений ЕП в мире. Больше не нужны громоздкие технологии обработки. С 2017 г. сходные электроды начали выпускать в Петербурге. МГУ дали пару электродов для испытаний.

# Две методики полевых работ в ЕП

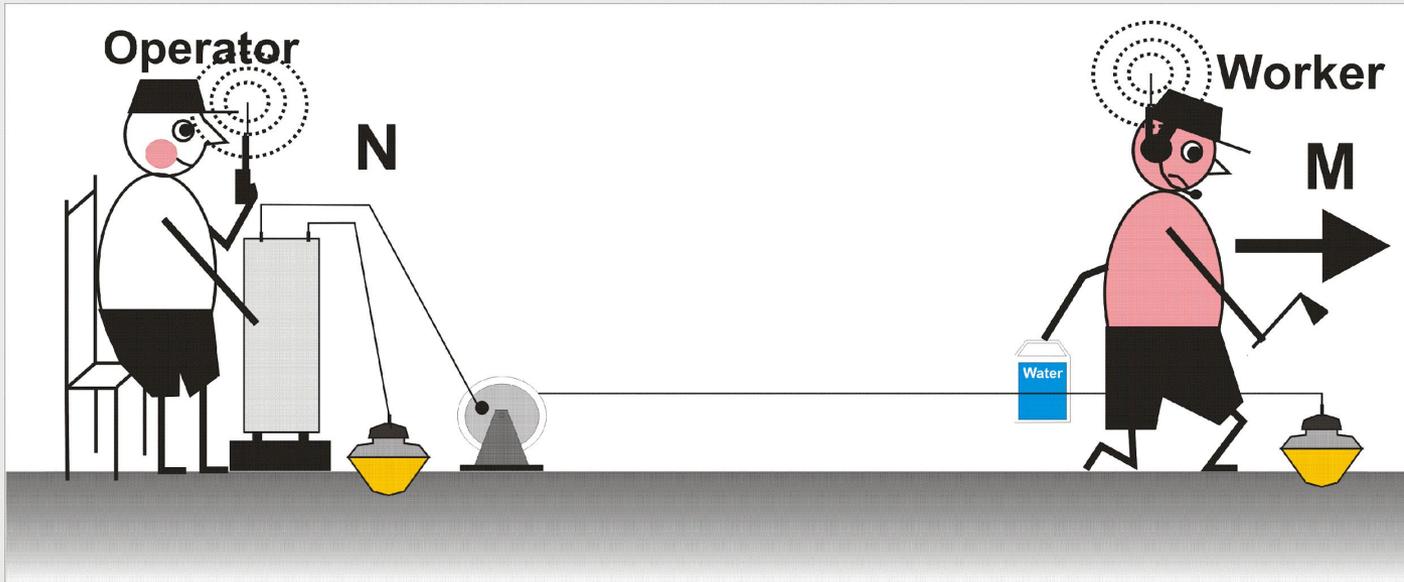
- Метод потенциала (основная)



- Метод градиента потенциала

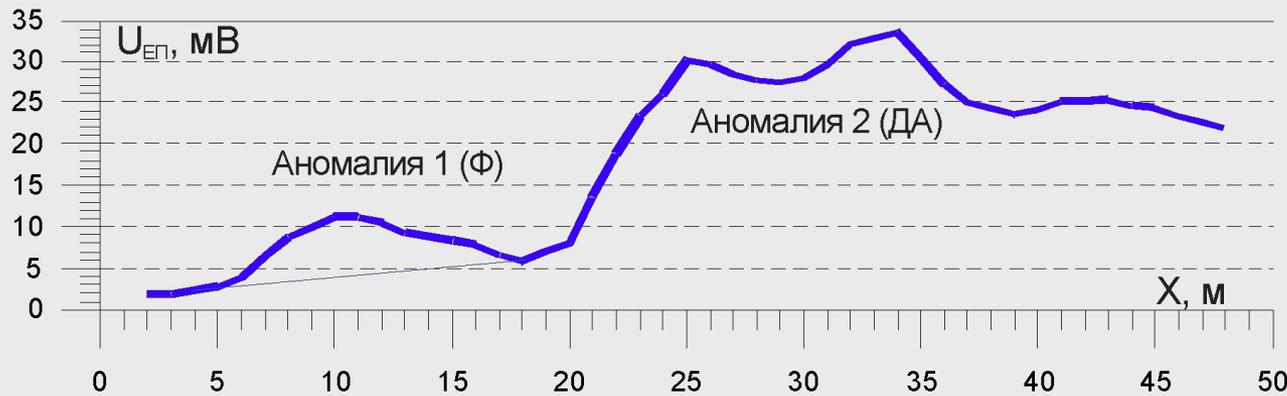


# Метод ЕП



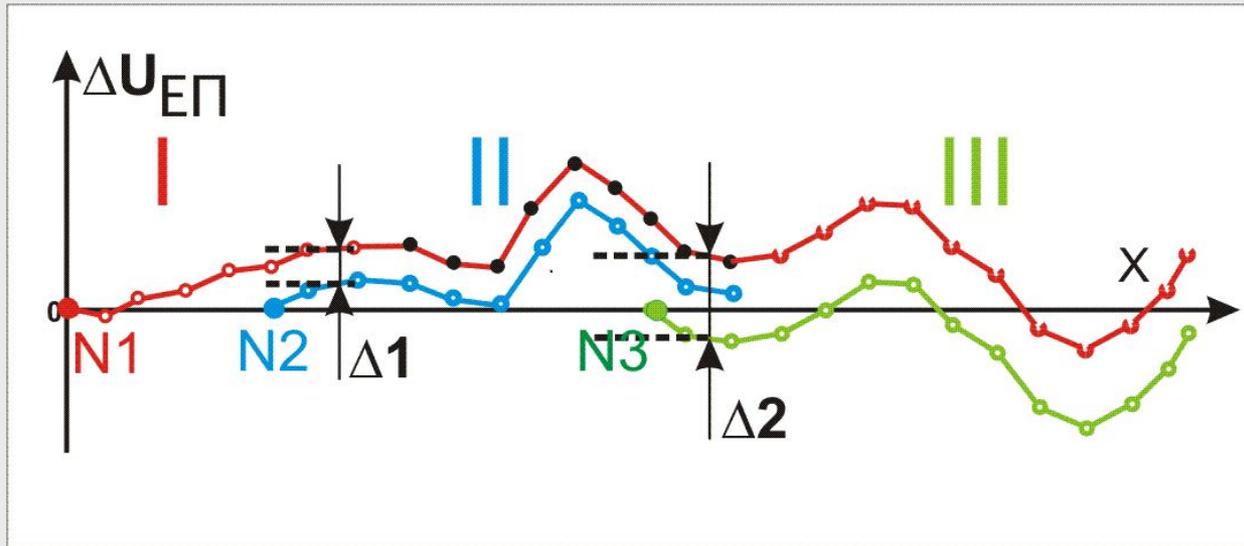
Методика  
съемки ЕП

Рисунок  
И.Н. Модина



Аномалии ЕП на  
профиле

# Обработка профильных данных потенциала ЕП



Длинный профиль снимается с нескольких положений N.

**Все сегменты снимаются с перекрытием.**

Все сегменты приводятся к одному положению, например, к N1 смещением сегментов вниз - вверх до наилучшего совпадения их общих частей.

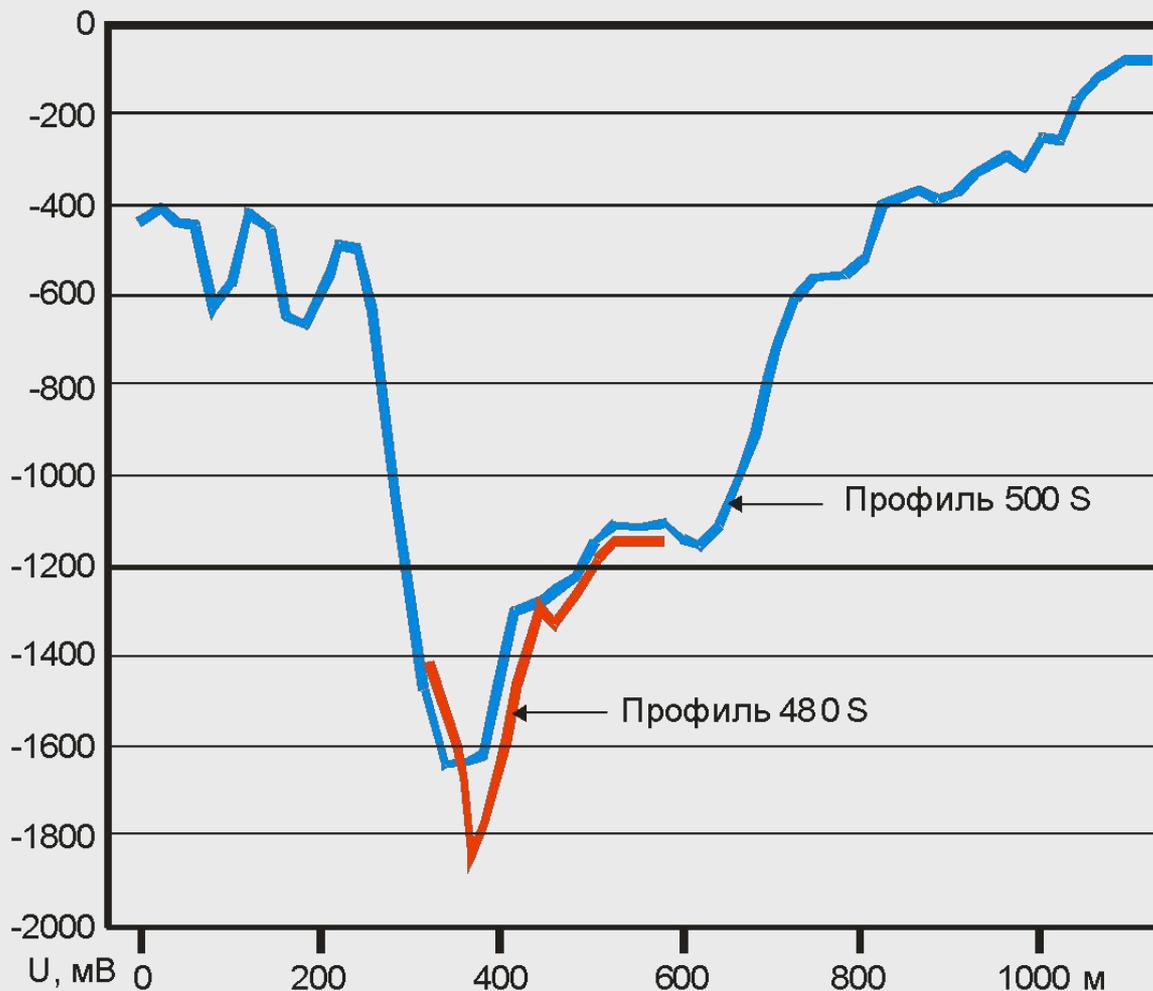
Региональные профили ЕП - бывают до тысячи км длины.

# Величины аномалий ЕП

В литературе можно найти возможные величины аномалий ЕП разной природы. Для **ОВ** аномалий есть верхний предел **1200 мВ** (по Сато и Муни, 1960). **ДА** аномалии обычно **меньше 50 мВ**. Наибольшие трудности с фильтрационными аномалиями. Обычно **от 5 до 150 мВ**. В 1967 г. появилась статья американского геофизика об аномалии ЕП в Перу амплитудой **1800 мВ**. Самая сильная в мире. ОВ аномалии не могут превышать 1200 мВ. Признаков руды на участке нет. Тогда что это за аномалия? Началась дискуссия, которая идет 50 лет. Два уральских геофизика (Вагшал и Беляев) написали, что **у Ф аномалий нет верхнего предела**, в отличие от ОВ. Так какими могут быть Ф аномалии? 1967 год - **1800 мВ**, 1971 г. в Прибайкалье и Саянах **1800 и 2800 мВ** (Оськин, Вахромеев и др.), 2004 г. Дальний Восток, Столов - **10000 мВ**.

Две проблемы: 1) могут ли Ф аномалии достигать таких величин? 2) Как распознать природу аномалий (ОВ, ДА, Ф) и отличать их друг от друга?

# Аномалия ЕП в Перу - 1800 мВ



Аномалия была выявлена в 1967 г. в Перу геофизиком из США Gay. Аномалия не ОВ происхождения. Тогда какого?

Фильтрационного. Дискуссия по этой аномалии идет 50 лет. Почему такая большая? **Пресная вода в горах и крутые склоны (большой градиент давления).**

Почему аномалия отрицательная? Это так называемая **склоновая**

**аномалия ЕП**, имеющая зеркальную **корреляцию с рельефом**. На вершине - минус, у подножия - плюс. Вода стекает от вершины вниз.

# Изучение условий фильтрации в горах

В 2015 г. Шевнин, Рыжов и Квон опубликовали статью по изучению Ф аномалий. Проверили и вывели заново формулу Гельмгольца:

$$E_{kin} = \frac{\delta \varepsilon \xi \rho}{R^2} \cdot K_f \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

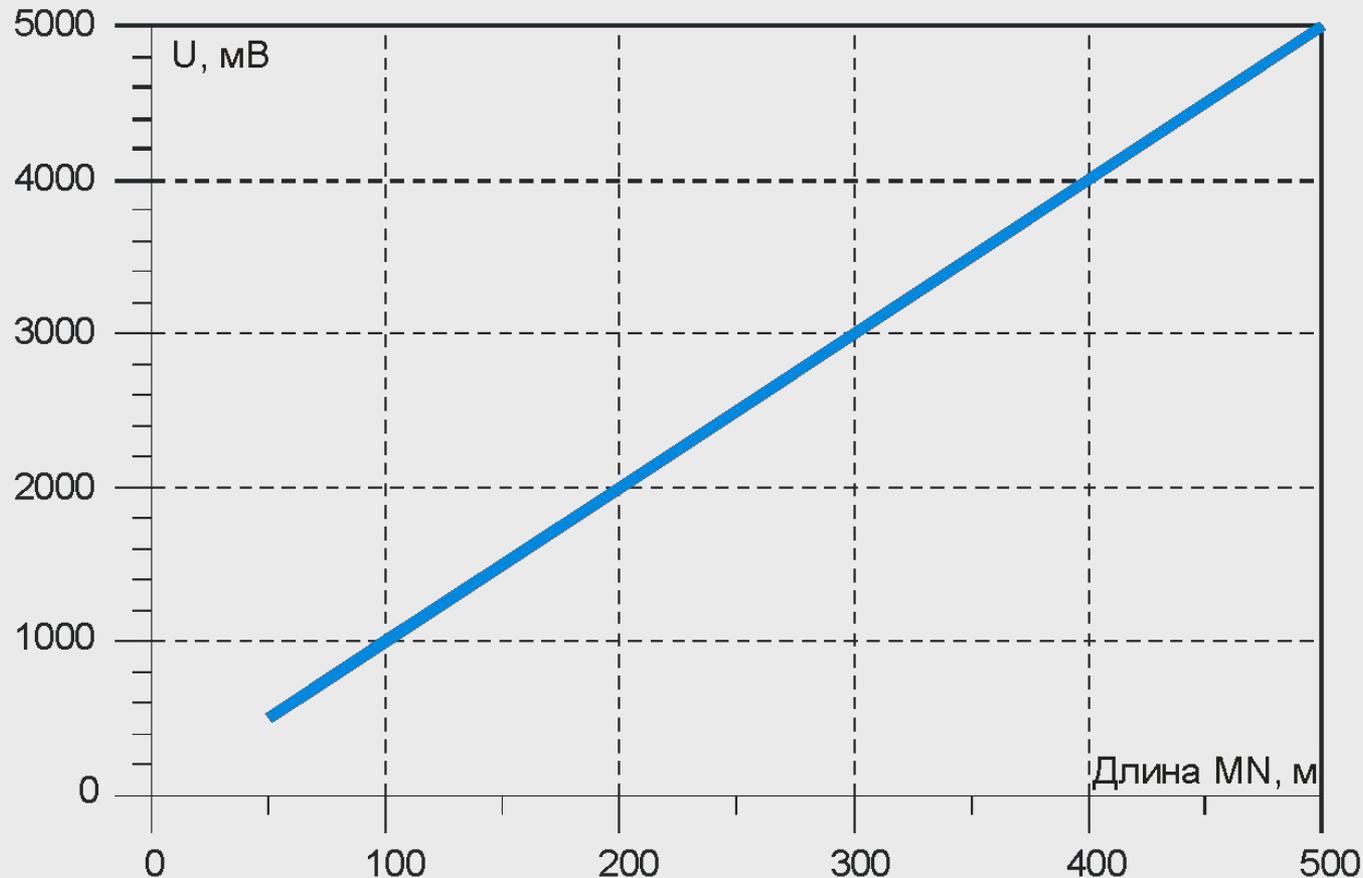
Отличия этой формулы: электрическое поле вместо потенциала, коэффициент фильтрации, вместо скорости фильтрации, динамический радиус среды  $R$  вместо радиуса капилляров (среда состоит из двух компонентов разного радиуса).  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость,  $\xi$  - дзета-потенциал двойного слоя,  $\rho$  - сопротивление поровой влаги,  $\Delta P / \Delta X$  - градиент давления.

В горных условиях вода пресная с сопротивлением 100, 300 и выше Ом.м, дзета-потенциал равен 20-50 мВ, градиент давления в среднем 0.5.

Отношение  $K_f / R^2$  меняется слабо, электрическое поле легко достигает 10-50 мВ/м.

В.А. Шевнин, А.А. Рыжов, Д.А. Квон. Интересный научный факт - сильные аномалии ЕП безрудной природы. Геофизика 2015, № 2, С.2-8.

# Потенциал от длины MN



Взяв эл. поле в **10 мВ/м**, посчитаем потенциал. На длине MN 500 м получим потенциал 5 В, **на длине 1 км - получим 10 В**. Ничего сверхъестественного не предполагаем. Тогда **почему аномалий такого типа известно мало?**

# Условия возникновения сильных аномалий потенциала

Аномалии большой величины такие редкие потому, что никто их специально не ищет. (Неуловимый Билл). Раньше искали рудные тела в горах и случайно находили аномалии ЕП. Сейчас и этого нет.

Сформулируем условия возникновения сильных аномалий потенциала.

1. Пресная вода фильтрационного потока (с сопротивлением 100 Ом·м и выше)
2. Фильтрующий пласт состоит из смеси гравия и песка.
3. Уклон поверхности 20-32° (средний уклон 27°), найден в публикациях.
4. Напряженность электрического поля фильтрации от 1 до 50 мВ/м (в среднем 10 мВ/м).
5. Длина склона с фильтрующим пластом от 100 до 500 м, это база измерения потенциала, чтобы аномалия потенциала могла вырасти выше 1000 мВ.
6. Должен быть источник воды, длительно действующий, например, ледник, или часто идут дожди (нормальная ситуация высокогорья). Тогда возникнут устойчивые аномалии ЕП.

# Как распознать природу аномалий ЕП?

Распознавание аномалий по величине и знаку. Самый первый признак: **ОВ** аномалии **отрицательны** и их амплитуда не выше 1200 мВ. Геологический фон, есть ли условия для ОВ аномалий? Сопоставляйте геофизические аномалии **с геологическим строением**.

Сильные **фильтрационные** аномалии в горах имеют зеркальную корреляцию с рельефом (рельефные аномалии).

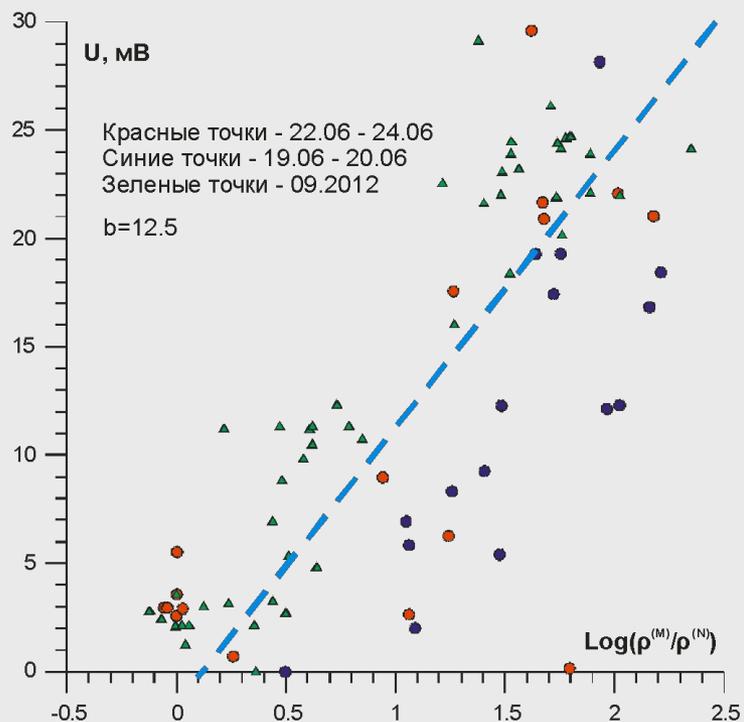
Как отличить **Ф** и **ОВ** аномалии - **комплексирование** с методом **ВП** - аномалии от электронных проводников. Есть такие проводники или нет.

Как отличить **Ф** и **ДА** аномалии - **комплексирование ЕП и метода сопротивлений**. Кроме того ДА аномалии до 50 мВ, т.е. небольшие.

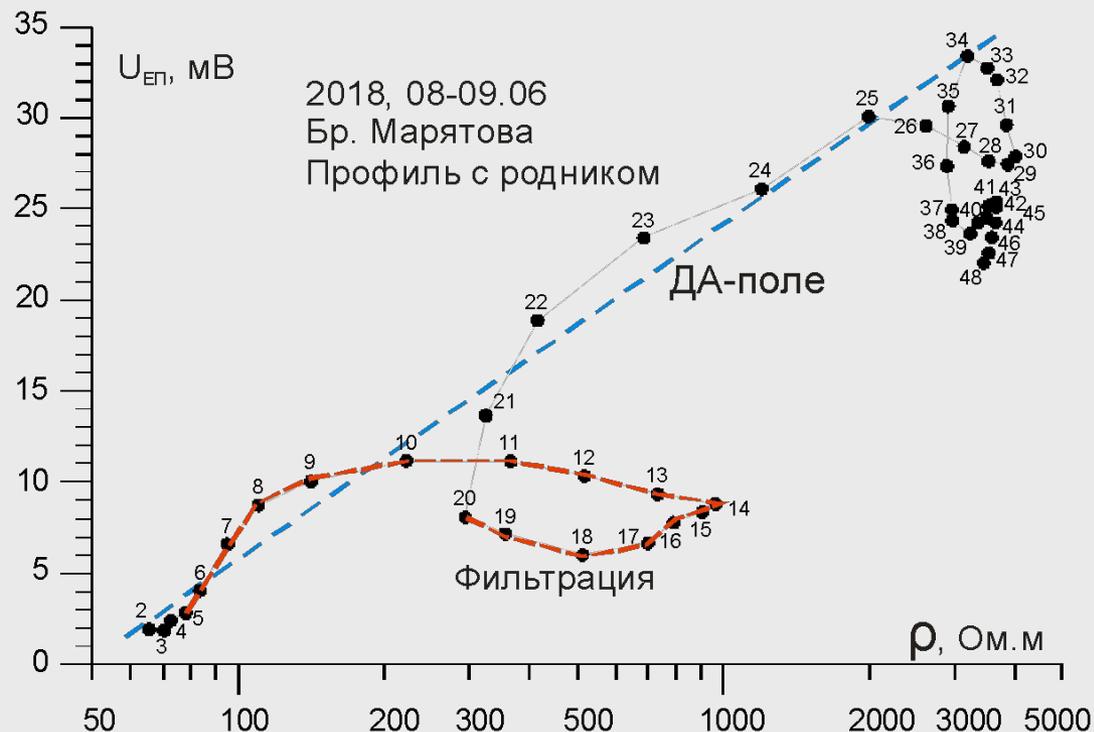
$$\Delta U_{ЕП} = U_{ЕП}^{(M)} - U_{ЕП}^{(N)} = b \cdot Lg(\rho^{(M)} / \rho^{(N)})$$

Признак ДА аномалии - **корреляция ЕП и Lg (ρ)**, по Ю.С.Рыссу.

# Корреляция ЕП и $Lg(\rho)$



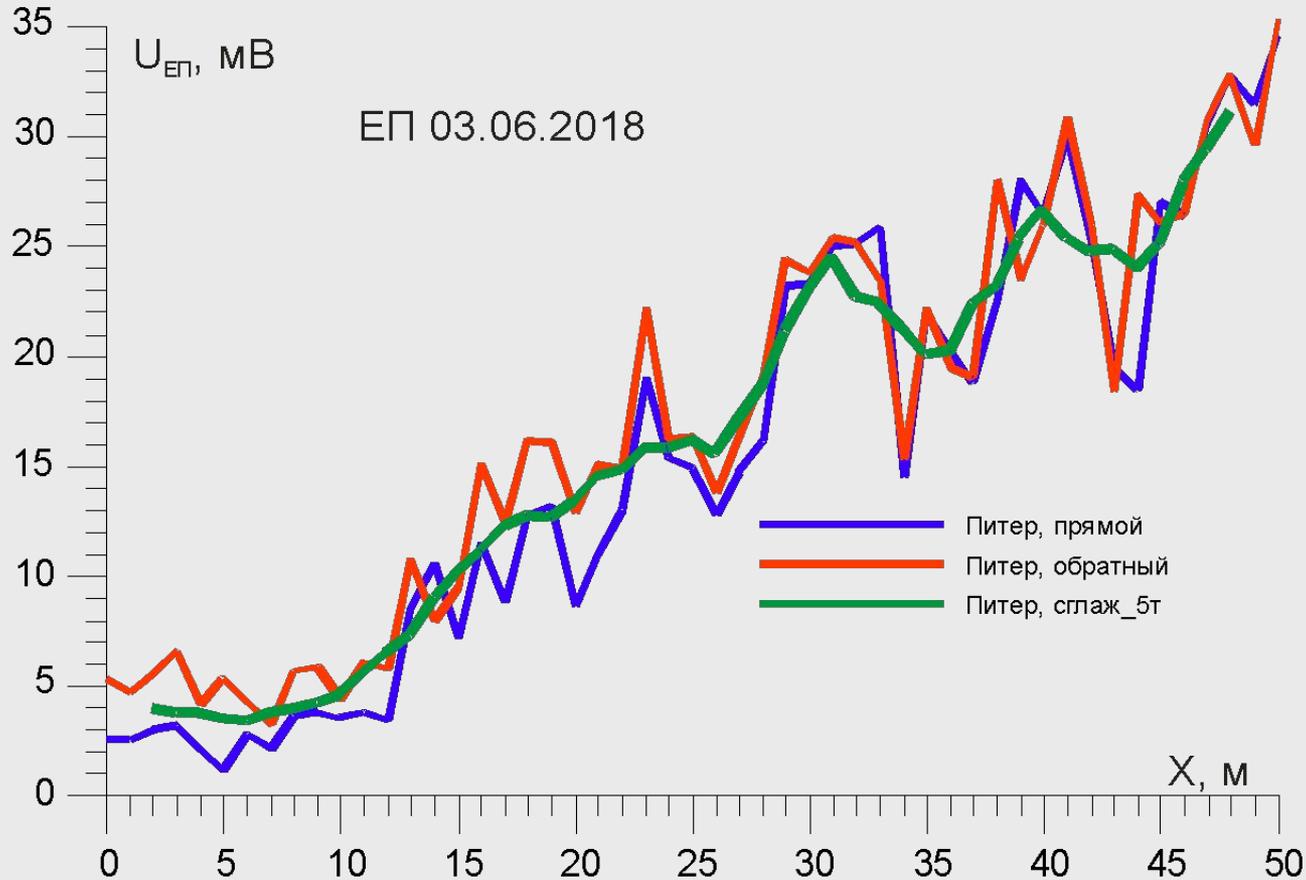
Поле корреляции ЕП и  $Lg(\rho)$  по данным прошлых лет на учебной практике



Поле корреляции ЕП и  $Lg(\rho)$  по профилю с  $\Phi$  и ДА аномалиями ЕП.

# Геологические помехи

Этим термином называют геологические сигналы от мелких приповерхностных неоднородностей, не представляющие интерес.



Графики ЕП: исходный, контрольный и после осреднения и сглаживания. Стоит измерять чаще, чтобы сглаживать поле убирая геологические помехи.

# Выводы по методу ЕП

ЕП самый первый из методов электроразведки, появившийся у геофизиков, простой по аппаратуре, недорогой.

ЕП - использует естественное поле, порождаемое процессами в земле.

Проблема ЕП - распознавание природы аномалии: ОВ, ДА и Ф решается путем комплексирования с другими методами и изучения геологической информации.

Надежное распознавание природы аномалий ЕП очень важно.