ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН

Комбинированные аэроэлектроразведочные системы объединяют преимущества частотных (FD) и временных (TD) систем. В них возбуждение, регистрация и обработка измерений могут осуществляться одновременно как в частотной, так и во временной области. Аэрогеофизический комплекс ЭКВАТОР является единственным из легкодоступных на территории РФ и стран СНГ, который использует комбинированную систему электромагнитных измерений, обеспечивая детальность изучения верхней части разреза и поиски проводящих объектов на больших глубинах.

АВТОРЫ | ЮРИЙ ПОДМОГОВ, ИРИНА САВИНОВА, ЕВГЕНИЙ МОЙЛАНЕН

В современной практике всё чаще применяются разнообразные аэроэлектроразведочные комплексы для решения различного рода гидрогеологических задач. Так, работы по решению гидрогеологических задач на территории Хорватии и на острове Сардиния (Италия) выполнялись с использованием комплекса ЭКВАТОР (разработка компании ООО «Геотехнологии») по заказу научных организаций Италии и Хорватии.

Главной предпосылкой использования методов электроразведки при поисках подземных вод является значительный контраст сопротивлений водонасыщенных пород относительно сухих и низкие значения сопротивлений для глинистых водоупоров. На графике (*рисунок 1*) видна практически линейная зависимость удельных сопротивлений грунтовых вод от количества и состава содержащихся солей [Бобачев и др., 2013], что даёт возможность оценивать степень их минерализации и осуществлять её мониторинг.

Работы на территории Хорватии выполнены в октябре 2021 года с целью изучения гидрогеологической обстановки прибрежно-морской долины реки Неретвы. Часть линий полёта проходила над поверхностью Адриатического моря (*рисунок 2*). Исследования выполнялись в условиях интенсивных промышленных помех (на участке находилась действующая железнодорожная линия постоянного тока), тем не менее используемое оборудование позволило получить надёжные результаты измерений.

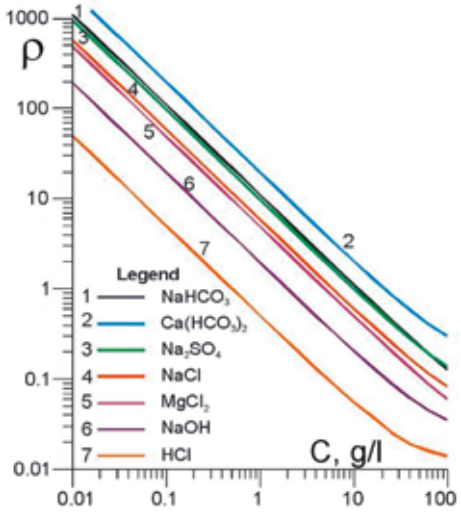


Рисунок 1. Зависимость удельного сопротивления грунтовых вод от количества и состава солей

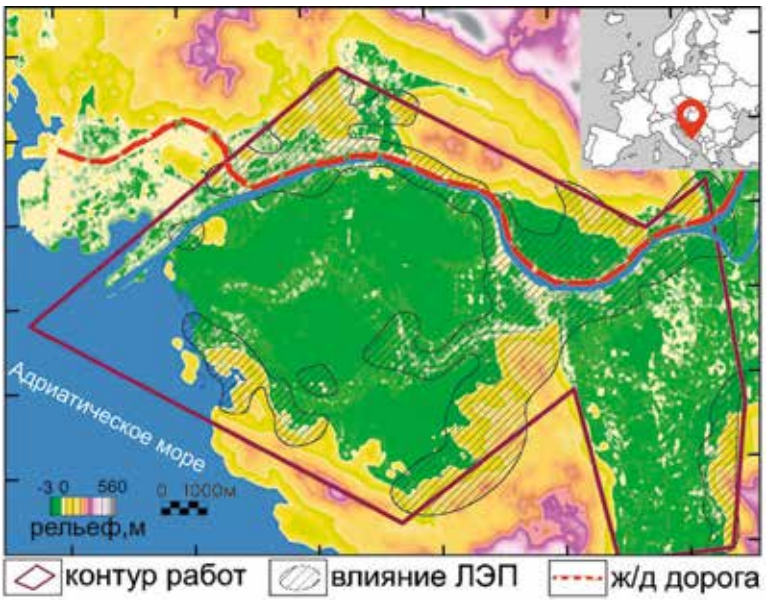


Рисунок 2. Контур участка работ на карте рельефа

По всем линиям наблюдений была реализована 1D-инверсия [Karshakov et al., 2017] электромагнитных данных и сформирована объёмная модель распределения удельного сопротивления с ячейкой грида 25x25x5 м. Такая модель позволяет анализировать горизонтальные сечения (слайсы) для выбранных абсолютных отметок и вертикальные сечения (разрезы) для линий полётов и произвольных направлений. На срезе для отметки 5 м низкими сопротивлениями (0,2—0,3 Ом·м) фиксируется русло реки Неретвы, вода которой во время приливов обогащается морской солёной водой (*рисунок 3*). На срезе 10 м руслу реки уже соответствуют на порядок большие сопротивления (5—20 Ом·м), вероятно, связанные с донными отложениями обводнённых песков.

Детальная врезка участка геоэлектрического разреза маршрута над прибрежной акваторией показывает, что сопротивление морской воды надёжно оценивается в 0,1 Ом·м, определяется мощность слоя морской воды, а глубина поверхности дна на геоэлектрических разрезах хорошо согласуется с данными батиметрии (*рисунок 4*). Важно, что под слоем высокоминерализованной морской воды выделяются отно-

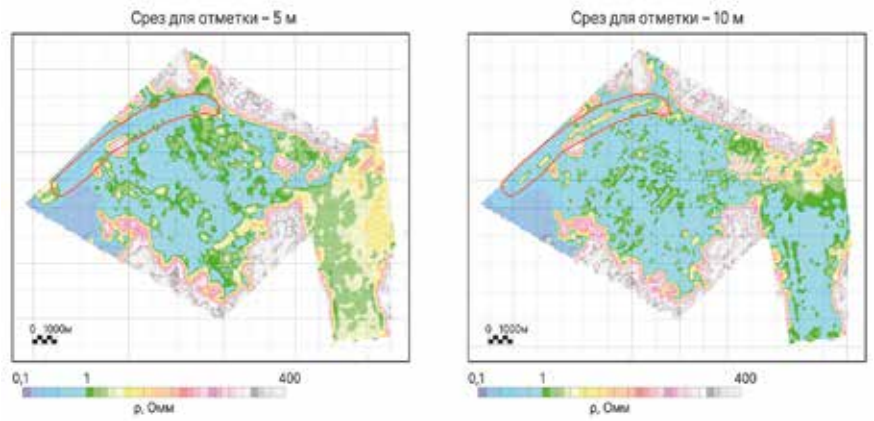


Рисунок 3. Горизонтальные срезы массива удельного сопротивления по результатам 1-D инверсии

сительно высокоомный слой 1—15 Ом·м (вероятно, обводнённые пески) и низкоомный слой 0,1—0,8 Ом·м (вероятно, глины).

В 2023 году были выполнены аэрогеофизические работы на нескольких участках на острове Сардиния с целью прогноза наличия пресных и минерализованных термальных вод. Рассмотрим участок Кастиадас (***рисунок 5***). Основными задачами исследований участка было определение областей инфильтрации солёной морской воды в прибрежные терригенные отложения и поиск возможных источников пресной воды.

На большей части площади развиты граниты и гранодиориты, относящиеся к плутоническому комплексу пермокарбонового возраста, по обширным хорошо проработанным долинам рек они перекрыты молодыми континентальными осадками плейстоценового возраста [Angelone et al., 2005]. В своём составе они содержат хорошо проницаемые рыхлые отложения, по которым возможна инфильтрация морской воды за пределы береговой линии, также эти рыхлые породы могут содержать пресные воды на значительном удалении от уреза морской воды. Для гранитов и молодых терригенных осадков характерно слабо дифференцированное, спокойное магнитное поле. Для гранитоидов участка работ характерны относительно высокие сопротивления от 300 до 2000 Ом·м. Молодые рыхлые отложения, обогащённые морской водой, имеют очень низкие сопротивления — от 0,1 до 1—2 Ом·м; сопротивления отложений, содержащих пресную воду, существенно выше и находятся в пределах 30—150 Ом·м.

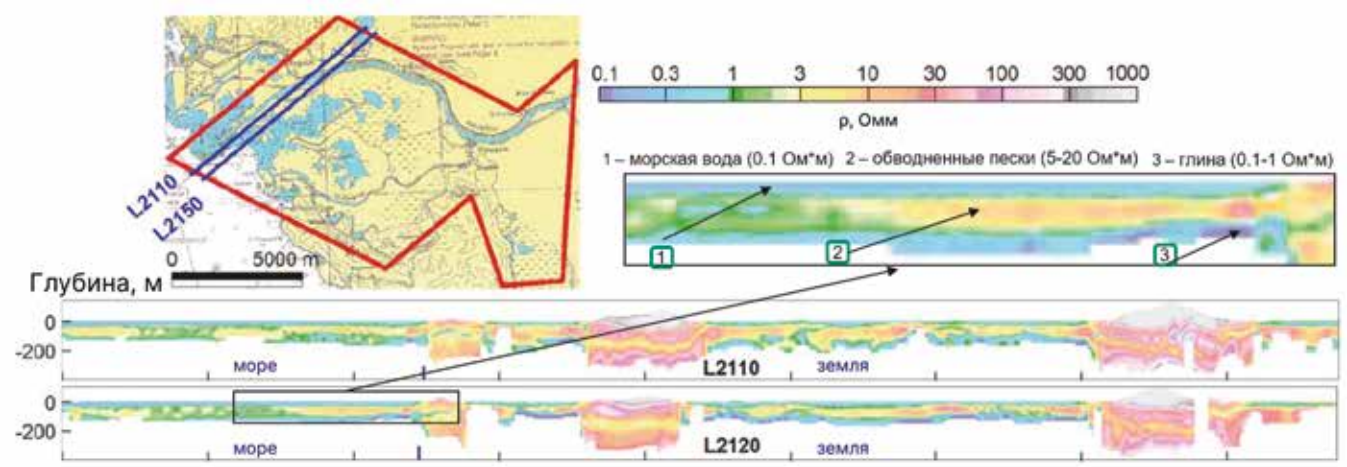


Рисунок 4. Вертикальные разрезы удельного сопротивления

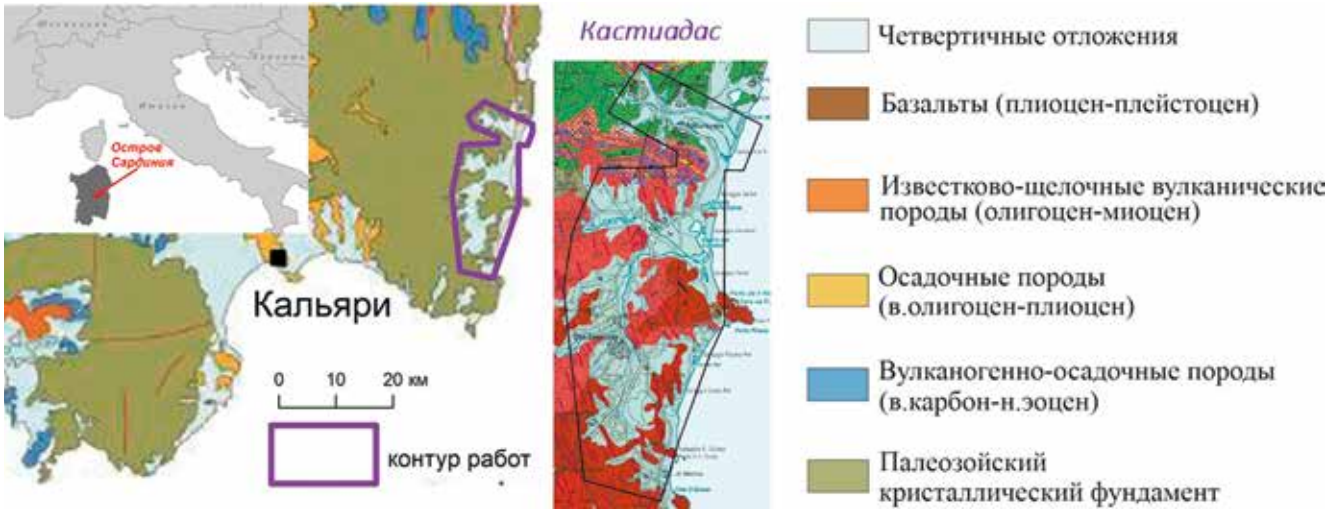


Рисунок 5. Обзорная карта для участка Кастиадас

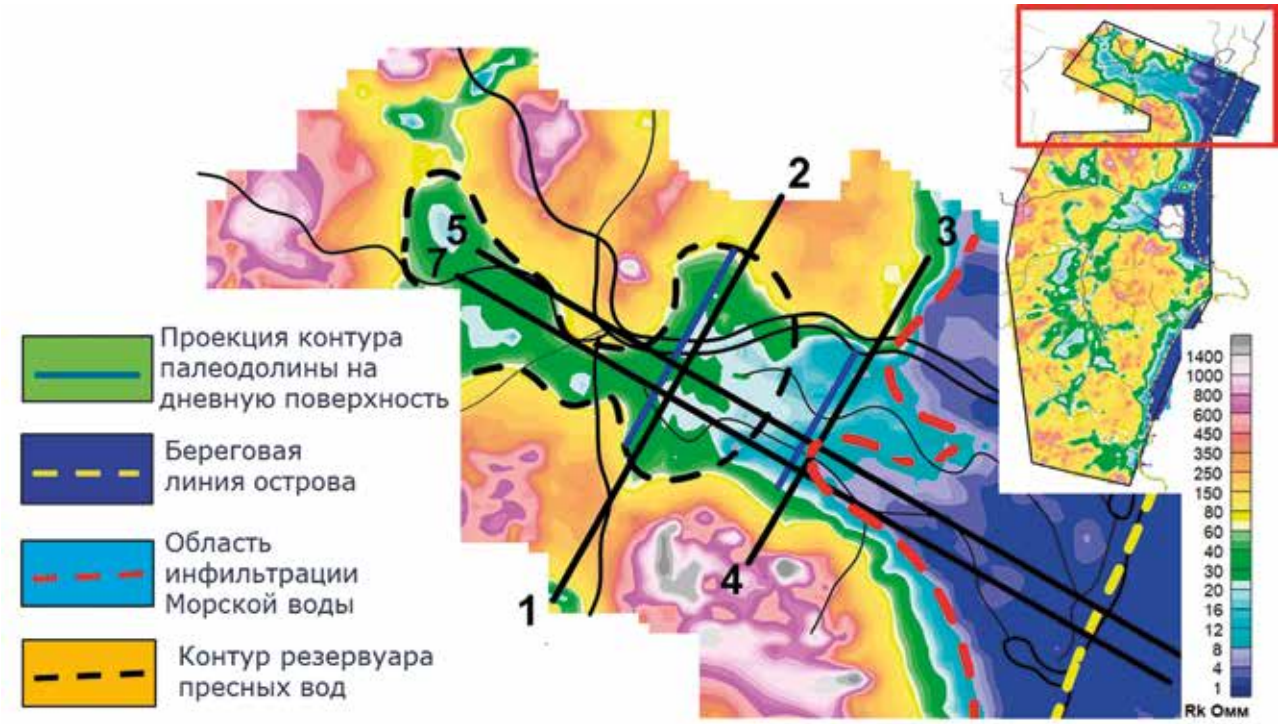


Рисунок 6. Фрагмент карты удельного сопротивления для интервала 0—300 м

По результатам массовой комбинированной 1D-инверсии частотных и временных электромагнитных данных [Karshakov et al., 2017] сформирована трёхмерная модель распределения удельного сопротивления с ячейкой грида 25x25x10 м.

Фрагмент карты сопротивлений (*рисунок 6*) хорошо иллюстрирует возможность картирования обводнённых рыхлых отложений, связанных с погребёнными палеодолинами. Заметно, что форма и конфигурация области пониженных сопротивлений плохо согласуется с тальвегами современных относительно крупных водотоков. Максимально низкие сопротивления характерны для области инфильтрации морской воды в устье палеорусла. Низкоомная зона 20—60 Ом·м, удалённая от береговой линии более чем на 3 км, скорее всего, связана с присутствием пресных вод.

Формы низкоомных зон в плоскости разрезов напоминают сечения хорошо проработанных древних речных долин (*рисунок 7*). Наиболее проводящий слой в тальвеговой области палеодолины, возможно, связан с хорошо проницаемыми отложениями, насыщенными морской водой; также нельзя исключать наличие хорошо проводящих глинистых отложений, не связанных с процессами инфильтрации морской воды.

ВЫВОДЫ

Применение комбинированной аэроэлектроразведки с использованием комплекса ЭКВАТОР позволило:

- изучить информацию о распределении удельного сопротивления среды в интервале глубин от 0 до 300—400 м;
- по результатам инверсии сформировать детальную 3D-модель удельного сопротивления с ячейкой грида 25x25x10 м, её совместный анализ с априорной информацией о термальных источниках позволил объективно оценить объёмы резервуаров термальных вод в интервале глубин от 0 до 400 м;
- в прибрежной акватории Адриатического моря показана принципиальная возможность определять сопротивления отложений под слоем высокоминерализованной морской воды мощностью 20 м;
- на участке Кастиадас (о. Сардиния) детально откартировать области инфильтрации солёной морской воды в прибрежные рыхлые отложения и палеодолины, перспективные на обнаружение резервуаров пресных вод.

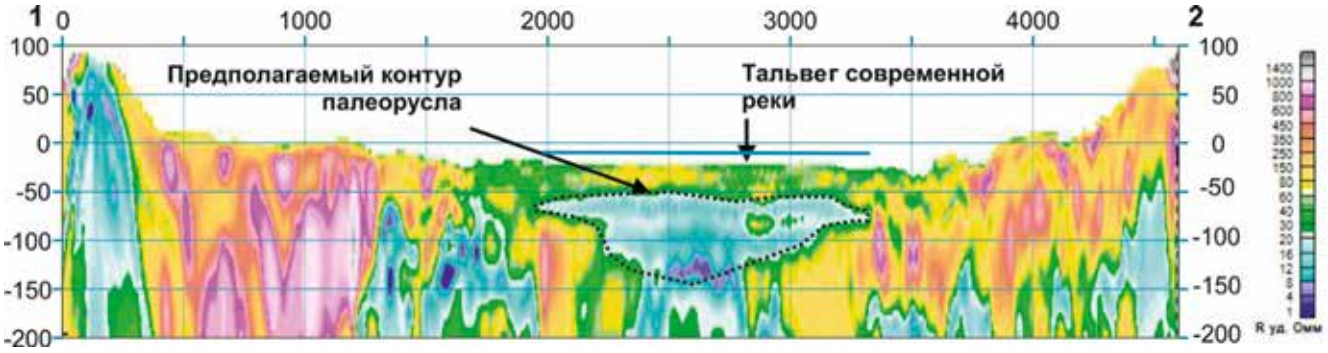


Рисунок 7. Геоэлектрический разрез по линии 1—2