

УДК 528+550.837+553.98

Н.А. ЯКИМЧУК¹, И.Н. КОРЧАГИН²

¹ Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії,
пер. Лабораторний, 1, г. Київ, 01133, Україна,
e-mail: yakymchuk@gmail.com

² Інститут геофізики ім. С.І. Субботина НАН України,
просп. Акад. Палладина, 32, г. Київ, 03680, Україна,
e-mail: korchagin.i.n@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ НА УЧАСТКАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ГЕЙЗЕРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ И ФОТОСНИМКОВ

Представлены результаты применения мобильной прямопоисковой технологии частотно-резонансной обработки и интерпретации спутниковых снимков и фотоснимков площадок расположения геотермальных электростанций (Кения, Исландия, Филиппины, Россия), гейзеров и кимберлитовых трубок, а также участков миграции водорода и метана в атмосфере. Экспериментальные исследования рекогносцировочного характера проведены с целью изучения особенностей глубинного строения участков, геотермальные ресурсы которых уже используются и могут быть использованы в будущем. В процессе частотно-резонансной обработки фотоснимков на всех обследованных участках зафиксированы отклики на частотах фосфора, водорода, живой воды и базальтов. Инструментальные измерения показали, что синтез живой воды происходит на поверхности (глубине) 57 км. Вне расположения геотермальных источников, в том числе в районах долгожительства и на участках водородной дегазации, синтез живой воды осуществляется на поверхности 68 км. В разрезах обследованных участков базальты и габбро расположены в верхней части, в интервале до 99 км. Под базальтами, на глубинах 99—218 км, залегают осадочные породы 8-й группы (доломиты), а еще ниже, в интервале 218—723 км — осадочные (кремнистые) породы 10-й группы. В верхней части разреза над базальтами залегают осадочные породы 7-й группы (известняки). На участках расположения активных гейзеров зафиксированы факты миграции водорода в атмосферу. Живая вода на границе синтеза 57 км, а также в базальтах характеризуется высокими отрицательными значениями окислительно-восстановительного потенциала. Установленные инструментальными измерениями особенности (однотипные) геологического строения на 10 локальных участках экспериментальных работ в различных регионах мира могут быть использованы в качестве поисковых признаков при проведении рекогносцировочных и детальных геолого-разведочных работ с целью обнаружения и локализации скоплений геотермальной воды в пределах слабоизученных площадей и участков.

Ключевые слова: геотермальная энергия, электростанция, гейзер, водород, базальты, доломиты, кимберлиты, алмазы, живая вода, абиогенный генезис, вулкан, прямые поиски, глубинное строение, нефть, газ, химические элементы, зондирование разреза, обработка данных дистанционного зондирования Земли.

Введение. В связи с масштабными проектами перехода мировой экономики на использование чистых и возобновляемых энергетических ресурсов в последние годы крупные нефтегазовые и энергетические компании начали обращать внимание на геотермальную энергию, которая становится все более привлекательной для инвестиций. Вложение финансовых ресурсов в производство геотермальной энергии предоставляет крупным компаниям возможность диверси-

фицировать свои энергетические проекты и расширить портфели возобновляемых источников энергии [8, 10].

В настоящее время геотермальные энергетические ресурсы используется в трех основных направлениях [10]: прямое применение в системах централизованного теплоснабжения; на геотермальных электростанциях для производства электроэнергии; как геотермальные тепловые насосы. Ограниченное сжигание топлива и ми-

нимальные выбросы углекислого, а также других парниковых газов означают, что геотермальная энергия становится все более предпочтительной для решения энергетических проблем мировой экономики.

В 2019—2020 гг. в различных регионах мира был выполнен большой объем экспериментальных исследований с целью апробации мобильных частотно-резонансных методов обработки и декодирования спутниковых снимков и фотоснимков, а также совершенствования методических приемов их применения при проведении поисковых работ на нефть и газ, водород, рудные полезные ископаемые и воду. В настоящей статье представлены материалы дополнительной апробации прямопоисковых методов на участках расположения геотермальных электростанций и гейзеров с целью изучения возможности их практического применения для поисков геотермальной воды.

Методы исследований. Экспериментальные исследования рекогносцировочного характера проводятся с использованием методов частотно-резонансной обработки и декодирования спутниковых снимков и фотоснимков, вертикального сканирования (зондирования) разреза с целью определения (оценки) глубин залегания и мощностей различных комплексов пород и искомым полезных ископаемых, а также методики интегральной оценки перспектив нефтегазоносности локальных участков и крупных блоков [5—7]. В использованных модификациях прямопоисковых методов важными компонентами являются базы (наборы, коллекции) химических элементов, минералов, образцов нефти и конденсата, а также осадочных, магматических и метаморфических пород, резонансные частоты которых используются в процессе обработки спутниковых снимков и фотоснимков. Коллекция образцов нефти в базе включает в себя 117 экземпляров, газоконденсата — 15 образцов. База осадочных пород состоит из 10 групп, а коллекция фотоснимков магматических и метаморфических пород включает в себя 18 групп [5]. Фотографии используемых наборов образцов осадочных, метаморфических и магматических пород заимствованы из электронного документа на сайте <http://rockref.vsegei.ru/petro/>.

Материалы ранее выполненных экспериментальных исследований, полученные с применением используемого набора мобильных прямопоисковых методов, представлены в публикациях [3—7]. В этих же статьях описаны методические особенности проведения измерений при

обработке спутниковых снимков и фотоснимков с использованием разработанных технических средств.

Обследование участков расположения геотермальных электростанций. На рис. 1 представлены фотоснимки четырех геотермальных электростанций в различных регионах земного шара, заимствованные из различных сайтов Интернета. Частотно-резонансная обработка фотоснимков проведена в рекогносцировочном режиме.

Геотермальная электростанция Olkaria 4 (Кения) [9]. В процессе частотно-резонансной обработки фотоснимка данной электростанции (рис. 1, а) с поверхности зарегистрированы отклики на частотах живой воды, водорода (очень интенсивные), фосфора и 6-й группы магматических пород (базальты).

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от базальтов (верхняя кромка) начали фиксировать с глубины 52 м.

Регистрацией откликов на различных глубинах сигналы на частотах базальтов зафиксированы в интервале глубин 52 м—99 км, от 8-й группы осадочных пород (доломиты) — 99—218 км, от 10-й группы осадочных (кремнистых) пород — 218—723 км.

Отклики от живой воды зарегистрированы на поверхности 57 км, на глубинах 59, 68 и 71 км сигналы на частотах живой воды отсутствовали.

На поверхности 57 км зарегистрированы отрицательные значения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) воды. Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от горячей воды зарегистрированы с глубины 33 м, живой воды — 35 м, водорода — 29 м, а от базальтов — 52 м.

На поверхности 52 м из верхней части разреза зафиксированы сигналы от 7-й группы осадочных пород (известняки), водорода, а также положительные значения ОВП воды, из нижней части разреза — отрицательные значения ОВП воды.

Геотермальная электростанция Несьявеллир (Исландия). В процессе обработки фотоснимка гидротермальной электростанции (рис. 1, б) с поверхности зафиксированы отклики от водорода, фосфора, живой воды и базальтов.

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от базальтов зарегистрированы с глубины 45 м и прослежены до глубины 99 км. Из интервала разреза 99—218 км получены сигналы на частотах 8-й группы осадочных пород (доломиты), а из интервала 218—723 км — 10-й группы осадочных (кремнистых) пород.

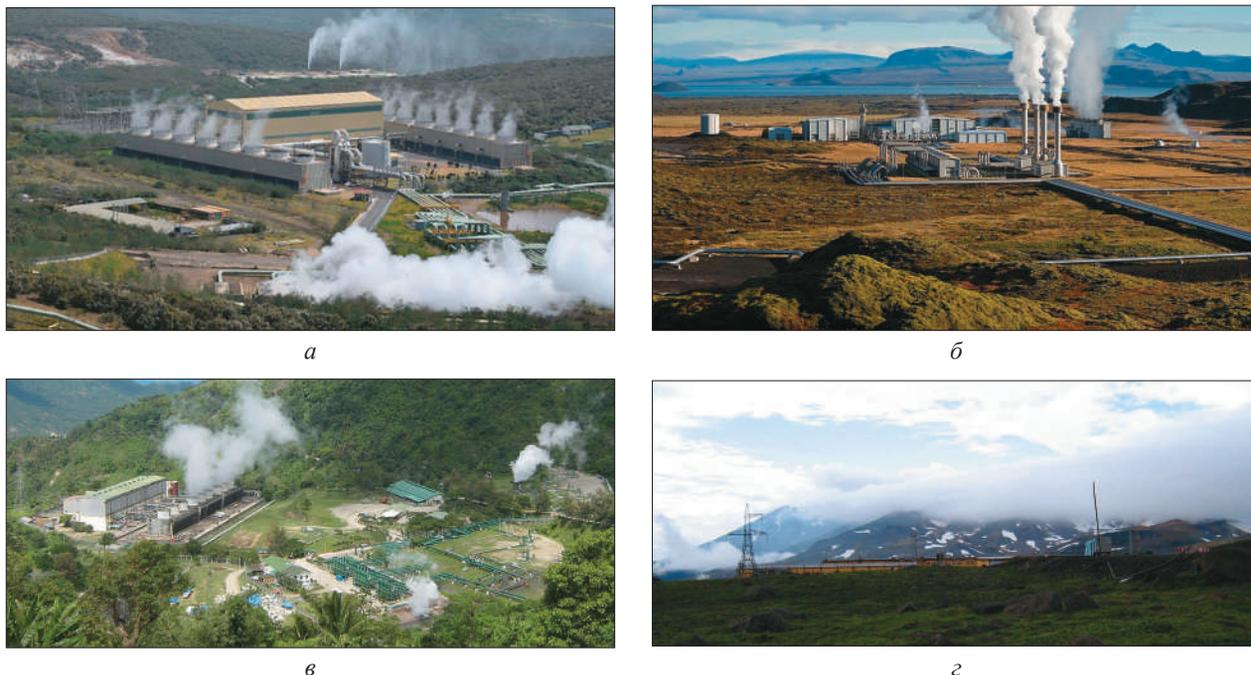


Рис. 1. Геотермальные электростанции в различных регионах земного шара: *а* — Olkaria 4 (Кения); *б* — Несьявеллир (Исландия); *в* — Palinpinon (Филиппины); *г* — Мутновская (Камчатка, Россия)

Fig. 1. Photographs of geothermal power plants in different regions of the world: *a* — Olkaria 4 (Kenya); *b* — Nesiavellir (Iceland); *v* — Palinpinon (Philippines); *г* — Mutnovskaya (Kamchatka, Russia)

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от живой воды зафиксированы с глубины 57 м и прослежены с разным шагом до поверхности 57,0 км. На поверхности 57 км зарегистрированы отклики от живой воды, а на глубине 59 км — от мертвой.

На поверхности 45 м из верхней части разреза зарегистрированы сигналы от 7-й группы осадочных пород (известняки).

Геотермальная электростанция Palinpinon (Филиппины). При обработке фотоснимка станции (рис. 1, *в*) с поверхности получены отклики от фосфора, водорода, живой воды и базальтов.

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от базальтов зарегистрированы с глубины 196 м и прослежены до глубины 99 км. Из интервала разреза 99—218 км зарегистрированы сигналы от 8-й группы осадочных пород (доломиты), а из интервала 218—723 км — от 10-й группы осадочных (кремнистых) пород.

От живой воды отклики зарегистрированы на поверхности 57 км, а от мертвой — на глубине 59 км.

На поверхности 196 м из верхней части разреза зарегистрированы сигналы от 7-й группы осадочных пород (известняки).

Мутновская геотермальная электростанция (Камчатка, Россия). В процессе обработки

фотоснимка станции с поверхности зафиксированы сигналы от фосфора, водорода, живой воды и базальтов.

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от базальтов зарегистрированы с глубины 230 м и прослежены до глубины 99 км. Из интервала разреза 99—218 км получены сигналы на частотах 8-й группы осадочных пород (доломиты), а из интервала 218—723 км — от 10-й группы осадочных (кремнистых) пород.

На поверхности 57 км зарегистрированы отклики от живой воды, а на глубине 59 км — от мертвой.

Из верхней части разреза на глубине 230 м зафиксированы сигналы от 7-й группы осадочных пород (известняки).

Рекогносцировочные исследования на участках расположения гейзеров. Заимствованные из опубликованных статей и сайтов Интернета фотоизображения пяти локальных участков расположения гейзеров представлены на рис. 2.

Гейзер в группе Грязевого вулкана [2]. В разрезе участка расположения гейзера (рис. 2, *а*) установлено наличие водорода, фосфора, живой воды и базальтов.

Верхняя кромка базальтов определена сканированием, шаг 10 см, на глубине 64 м, нижняя



а



б



в



г

Рис. 2. Гейзеры в различных регионах земного шара: а — группа Грязевого вулкана [2]; б — бассейн гейзеров Джибонна [2]; в — Исландия; г — Камчатка, Россия; д — Долина гейзеров (США)

Fig. 2. Photographs of geysers in different regions of the globe: а — the Mud Volcano group [2]; б — the Gibonna geyser basin [2]; в — Iceland; г — Kamchatka, Russia; д — Valley of Geysers (USA)



д

кромка установлена на глубине 99 км. В интервале глубин 99—218 км расположены доломиты (8-я группа осадочных пород), а в интервале 218—723 км — кремнистые породы (10-я группа осадочных).

Отклики от живой воды получены на поверхности 57 км, а на глубинах 59, 68 и 71 км живая вода отсутствует.

На глубине 59 км зафиксированы сигналы на частотах мертвой воды.

На поверхности 63 м из верхней части разреза получены отклики от 7-й группы осадочных пород (известняки), водорода, фосфора и живой воды.

При сканировании разреза, шаг 1 см, отклики от водорода и живой воды начали фиксировать с поверхности (0 м).

На поверхности 63 м из верхней части разреза инструментальными измерениями зафиксированы отрицательные значения ОВП воды.

Бассейн гейзеров Джибонна [2]. В пределах участка расположения гейзера (рис. 2, б) установлено наличие водорода, фосфора, живой воды, базальтов и 7-й группы осадочных пород (известняки).

Верхняя кромка базальтов определена сканированием, шаг 10 см, на глубине 160 м, нижняя кромка установлена на глубине 99 км. В интервале глубин 99—218 км расположены доломиты (8-я группа осадочных пород), а в интервале 218—723 км — кремнистые породы (10-я группа осадочных).

Отклики на частотах живой воды получены на поверхности 57 км, а на глубинах 59, 68 и 71 км

живая вода отсутствует. На глубине 59 км установлено наличие мертвой воды. При сканировании разреза с шагом 1 см отклики от водорода и живой воды начали фиксировать с глубины 40 м.

На поверхности 160 м из верхней части разреза получены сигналы на частотах 7-й группы осадочных пород (известняки).

На поверхности 0 м из нижней части разреза инструментальными измерениями зафиксированы отрицательные значения ОВП воды.

Гейзер в Исландии. В разрезе участка расположения гейзера (рис. 2, е) установлено наличие водорода, фосфора, живой воды и базальтов.

Верхняя кромка базальтов определена сканированием, шаг 1 м, на глубине 200 м, нижняя кромка установлена на глубине 99 км. В интервале разреза 99—218 км расположены доломиты (8-я группа осадочных пород), а в интервале 218—723 км — кремнистые породы (10-я группа осадочных).

Отклики на частотах живой воды получены на поверхности 57 км, а на глубинах 59, 68 и 71 км живая вода отсутствует. На глубине 59 км установлено наличие мертвой воды.

На поверхности 200 м из верхней части разреза получены отклики от 7-й группы осадочных пород (известняки).

Гейзер на Камчатке (Россия). На участке расположения гейзера (рис. 2, з) получены отклики от водорода, фосфора, живой воды и базальтов.

Верхняя кромка базальтов определена сканированием, шаг 10 см, на глубине 63 м, нижняя кромка установлена на глубине 99 км. В интервале разреза 99—218 км расположены доломиты (8-я группа осадочных пород), а в интервале 218—723 км — кремнистые породы (10-я группа осадочных).

Отклики от живой воды зафиксированы на поверхности 57 км, а на глубинах 59, 68 и 71 км живая вода отсутствует. На глубине 59 км установлено наличие мертвой воды. На поверхности 63 м из верхней части разреза получены отклики на частотах 7-й группы осадочных пород (известняки).

Долина гейзеров в США. В разрезе участка расположения гейзеров (рис. 2, д) зафиксированы отклики на частотах водорода, фосфора, живой воды и базальтов.

Верхняя кромка базальтов определена сканированием, шаг 10 см, на глубине 48 м, нижняя кромка установлена на глубине 99 км. В интервале разреза 99—218 км расположены доломиты (8-я группа осадочных пород), а в интервале 218—723 км — кремнистые породы (10-я группа осадочных пород).

Отклики от живой воды получены на поверхности 57 км, а на глубинах 59, 68 и 71 км живая вода отсутствует. На глубине 59 км установлено наличие мертвой воды.

На поверхности 48 м из верхней части разреза получены отклики на частотах 7-й группы осадочных пород (известняки).

Участок поисков геотермальной воды на севере Пекина (Китай). Спутниковый снимок участка поисков показан на рис. 3. В процессе частотно-резонансной обработки всего снимка с поверхности зафиксированы сигналы от фосфора, водорода, живой воды и 6-й группы (базальты) магматических пород.

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, верхняя кромка базальтов определена на глубине 35 м; отклики от живой воды начали фиксировать с глубины 55 м, от водорода — с глубины 49 м.

В разрезе участка обследования сигналы от базальтов зафиксированы в интервале глубин 35 м—99 км, от 8-й группы осадочных пород (доломиты) — в интервале 99—218 км, от 10-й группы осадочных (кремнистых) пород — в интервале 218—723 км.

На поверхности 0 м из верхней части разреза получены отклики от водорода, что свидетельствует об его миграции в атмосферу. Отклики от живой воды зафиксированы на поверхности 57 км, на глубине 68 км сигналы от живой воды отсутствовали. На глубине 55 м в нижней части разреза зафиксированы отрицательные значения ОВП воды, а в верхней части — положительные.

При обработке фрагмента снимка на рис. 3 в прямоугольном контуре слева зафиксированы отклики на частотах фосфора, водорода, живой воды и магматических пород 6-й группы (базальты).

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от базальтов начали фиксировать с глубины 40 м, водорода — 53 м, а живой воды — с глубины 77 м.

В разрезе зоны обследования из интервала разреза 40 м — 99 км получены отклики на частотах базальтов, из интервала 99—218 км — 8-й группы осадочных пород (доломиты), а из интервала 218—723 км — 7-й группы магматических (ультрамафических) пород.

На глубине 77 м в нижней части разреза зафиксированы отрицательные значения ОВП живой воды. Отклики от живой воды зарегистрированы на глубине 68 км, а на глубине 57 км — сигналы от живой воды отсутствовали.

При дополнительной обработке всего снимка (рис. 3) без выреза в левом прямоугольнике сиг-

налы от живой воды зарегистрированы на поверхности 57 км, а на глубине 68 км отклики отсутствовали.

На поверхности 218 км зарегистрированы сигналы от 10-й группы осадочных (кремнистых) пород и очень слабые отклики от 7-й группы магматических (ультрамафических) пород.

В процессе обработки небольшого фрагмента снимка в правой части рис. 3 с поверхности зафиксированы сигналы от водорода, фосфора, живой воды и базальтов.

Нижняя кромка базальтов зафиксирована на глубине 99 км, из интервала разреза 99—218 км получены отклики на частотах доломитов, а на поверхности 218 км из нижней части разреза зарегистрированы сигналы от кремнистых пород (10-я группа осадочных пород).

Отклики от живой воды зафиксированы на поверхности 57 км, а на глубинах 59, 68 и 71 км сигналы от живой воды отсутствовали. На поверхности 57 км зафиксированы отрицательные значения ОВП живой воды.

Сканированием разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от живой воды начали регистрировать с глубины 50 м. На поверхности 50 м получены отрицательные значения ОВП живой воды в нижней части разреза, а в верхней части получены положительные значения ОВП мертвой воды.

Участки миграции и выбросов водорода и метана на поверхность. Результаты частотно-резонансной обработки фотоснимков площадок расположения геотермальных электростанций и гейзеров свидетельствуют о практически однотипном глубинном строении разрезов этих участков. В связи с указанным для сопоставления дополнительно проведена обработка фотоснимков участков выхода газов на поверхность, заимствованных из статей [2, 11].

Кольцевые структуры в Северной Каролине [2]. При обработке фотоснимка зоны водородной дегазации (рис. 4, а) с поверхности зафиксированы сигналы от фосфора (белого), водорода, живой воды и 6-й группы магматических пород (базальты). Дегазация с поверхности: зафиксированы сигналы от фосфора и водорода.

Корень базальтового вулкана установлен на глубине 470 км. Отклики от живой воды получены на глубине 68 км, от мертвой — на поверхности 71 км. На глубинах 57 и 59 км отклики от живой и мертвой воды отсутствовали.

Кольцевая структура в штате Канзас [2]. В процессе обработки фотоснимка участка дегазации (рис. 4, б) с поверхности зафиксированы от-



Рис. 3. Спутниковый снимок участка поисков геотермальной воды на севере Пекина (Китай)

Fig. 3. Satellite image of the geothermal water prospecting site in the north of Beijing (China)

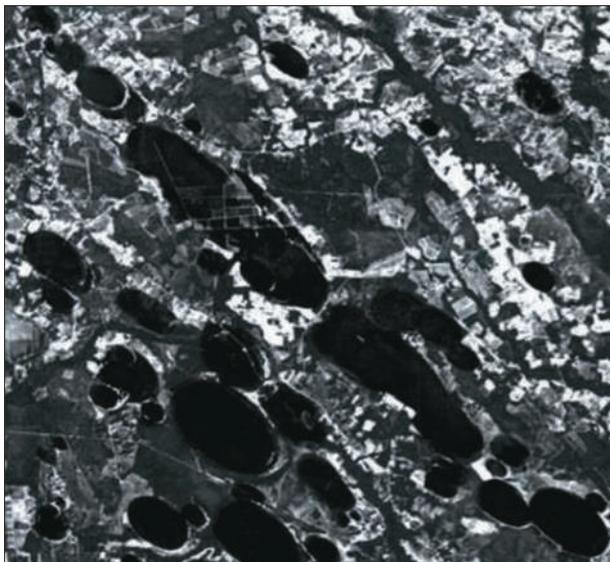
клики слабой интенсивности от фосфора, водорода и живой воды. В районе обследования получены сигналы от 1—6-й и 10-й (кремнистые) групп осадочных пород, а также базальтов и кимберлитов. Нижняя кромка базальтов определена на глубине 98 км, отклики от кремнистых пород зафиксированы из интервала 99—723 км, а корень кимберлитового вулкана установлен на глубине 723 км.

Горящий выход газа в Chimaera (Турция) [11]. В процессе частотно-резонансной обработки фотоснимка (рис. 4, в) с поверхности зафиксированы отклики от 6-й, 7-й (слабой интенсивности), 15—18-й групп магматических пород. Фиксируется дегазация фосфора и водорода в атмосферу. Нижняя кромка базальтов зафиксирована на глубине 99 км. Из интервала 99—218 км зарегистрированы сигналы на частотах 10-й группы осадочных (кремнистых) пород, а из интервала 218—723 км — от 11-й группы магматических пород (кимберлиты).

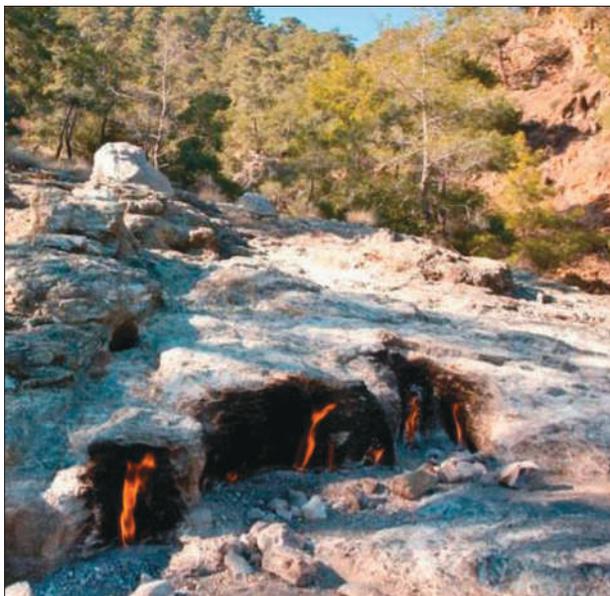
На поверхности 68 км получены отклики от живой воды, а на глубине 71 км — от мертвой. На поверхностях 57 и 59 км отклики от живой и мертвой воды отсутствовали.

Горящий газ из скважины 42 кимберлитовой трубки Удачная [11]. При обработке фотоснимка выброса газа на скважине в районе кимберлитовой трубки «Удачная» (рис. 4, г) с поверхности зарегистрированы отклики от нефти, конденсата, газа янтаря, углекислого газа, фосфора, горючего сланца, газогидратов, антрацита, водорода, алмазов и графита.

Зарегистрированы сигналы от осадочных пород 1—6-й групп и магматических пород 11-й



a



б



в



г

Рис. 4. Участки миграции и выбросов водорода и метана на поверхность: *a* — кольцевые структуры в Северной Каролине [2]; *б* — кольцевая структура в штате Канзас [2]; *в* — непрерывно горящий выход газа в Чимаера (Турция) [11]; *г* — горящий газ из скважины 42 кимберлитовой трубки Удачная [11]

Fig. 4. Photographs of areas of migration and emissions of hydrogen and methane to the surface: *a* — ring structures in North Carolina [2]; *б* — ring structure in the state of Kansas [2]; *в* — continuously burning gas outlet in Chimaera (Turkey) [11]; *г* — burning gas from well 42 of Udachnaya kimberlite pipe [11]

(кимберлиты)—13-й групп. Нижняя кромка 1—6-й групп осадочных пород определена на глубине 5,340 км, а отклики от кимберлитов фиксировались из интервала 133 м — 723 км.

На поверхности синтеза углеводородов 57 км зафиксированы отклики от нефти, конденсата, газа, янтаря, углекислого газа и фосфора.

В связи с фиксацией при обработке фотоснимка (рис. 4, *г*) откликов от углеводородов 1—6-й групп осадочных пород и кимберлитов дополнительно были обработаны спутниковые снимки площади расположения трубки с целью определения типов вулканических комплексов в разрезе района обследования.

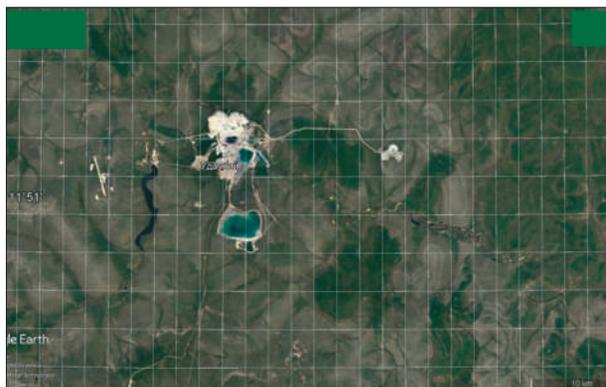
В процессе частотно-резонансной обработки спутникового снимка участка расположения

кимберлитовой трубки Удачная (рис. 5, *a*) с поверхности зафиксированы сигналы от осадочных пород 1—6-й, 7-й (известняки) и 9-й (мергели) групп, а также 11-й (кимберлиты) —13-й групп магматических пород. На поверхности 99 км из нижней части разреза получены отклики на частотах 10-й группы осадочных пород (кремнистых). Нижняя кромка известняков зафиксирована на глубине 98 км.

Регистрацией откликов на частотах различных групп пород на разных глубинах определены глубины корней следующих вулканических структур: 1—6-й группы осадочных пород — 470 км; 7-й (известняки) и 10-й групп (кремнистые) осадочных пород, а также 11-й группы магматических пород (кимберлиты) — 723 км.



а



б

Рис. 5. Спутниковые снимки участков в районе расположения кимберлитовой трубки Удачная (пояснения в тексте)
Fig. 5. Satellite images of areas in the region of Udachnaya kimberlite pipe (explanations in the text)

На рис. 5, б представлен спутниковый снимок участка расположения кимберлитовой трубки Удачная большей площади. В процессе частотно-резонансной обработки этого снимка в разрезе площади определены корни таких же вулканов, что и при проведении обследования участка на рис. 5, а. При этом с поверхности дополнительно зафиксированы сигналы от соли, а также 8-й (доломиты) и 10-й (кремнистые) групп осадочных пород. Нижние кромки доломитов и мергелей зафиксированы на глубине 98 км.

Особенности глубинного строения в районе расположения кимберлитовых трубок.

Спутниковый снимок территории в районе расположения кимберлитовых трубок представлен на рис. 6. Рекогносцировочные исследования на этой площади проведены с целью сопоставления результатов обработки с материалами, полученными в районе кимберлитовой трубки Удачная. Основная задача исследований — оценка перспектив обнаружения на площади обследования нефти, конденсата, газа, водорода и живой воды, а также алмазоносных трубок в правой части участка (рис. 6). Прямоугольными контурами на рисунке обозначены фрагменты, частотно-резонансная обработка которых выполнялась в рекогносцировочном режиме отдельно.

При обработке фрагмента снимка (рис. 6) в прямоугольном контуре 1 с поверхности зафиксированы сигналы от алмазов, графита, лонсдейлита, соли калийно-магниевого, 10-й группы осадочных (кремнистых) пород, а также 7-й (ультрамафические) и 11-й (кимберлиты) групп магматических пород.

Корень кимберлитового вулкана зарегистрирован на глубине 723 км. Нижняя кромка ультрамафических пород зафиксирована на глубине 99 км, а из интервала 99—723 км получены от-

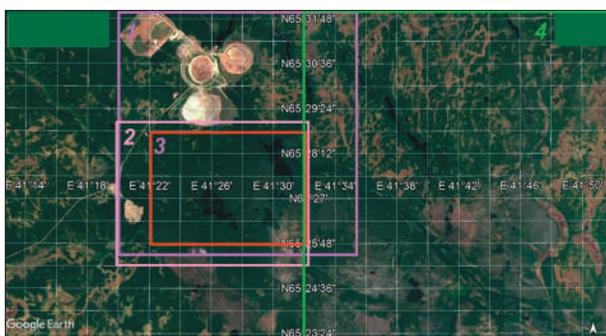


Рис. 6. Спутниковый снимок территории в районе расположения кимберлитовых трубок

Fig. 6. Satellite image of the area in the region of kimberlite pipes location

клики от кремнистых пород (10-я группа осадочных пород).

Отклики от соли калийно-магниевого и лонсдейлита получены на поверхности 99 км только из верхней части разреза.

В процессе обработки фрагмента снимка в прямоугольном контуре 2 (без верхней трубки) зафиксированы отклики от алмазов.

При обработке фрагмента снимка в прямоугольном контуре 3 зарегистрированы сигналы от лонсдейлита, а также 7-й и 11-й групп магматических пород. На поверхности 99 км из верхней части разреза получены отклики от соли калийно-магниевого и лонсдейлита, а из нижней части — только от 10-й группы осадочных (кремнистых) пород. Нижняя кромка кимберлитов зафиксированы в интервале глубин 11—12 км.

Обработка фрагмента снимка в прямоугольном контуре 4 (правая часть рисунка) проведена с целью оценки перспектив обнаружения алмазоносных трубок.

В процессе проведения инструментальных измерений в пределах этого фрагмента с поверхно-

сти зарегистрированы сигналы на частотах алмазов, графита, лонсдейлита, соли калийно-магниевого.

Зарегистрированы также сигналы от 7—11-й, 15-й групп магматических пород. Нижняя кромка 7-й группы магматических пород зафиксирована на глубине 218 км. Из интервала 218—723 км получены отклики от 8-й группы осадочных (доломиты) пород. Корень кимберлитового вулкана определен на глубине 723 км. С поверхности зарегистрированы отклики от графита и алмазов.

Сканированием указанного разреза с поверхности, шаг 10 см, отклики от кимберлитов начали фиксировать с глубины 75 м, а от алмазов — с глубины 90 м.

Основные выводы. На обследованных в различных регионах мира участках расположения геотермальных электростанций и гейзеров инструментальными измерениями установлены следующие особенности геологического строения в рамках вулканической модели их формирования [1].

1. С поверхности в разрезе участков обследования фиксируются отклики на частотах фосфора, водорода, живой воды и базальтов.

2. Синтез живой воды происходит на поверхности (глубине) 57 км. Вне расположения геотермальных источников, в том числе и в районах долгожительства на участках водородной дегазации, синтез живой воды осуществляется на поверхности 68 км.

3. В разрезах обследованных участков базальты и габбро расположены в верхней части, в интервале до глубин 99 км. Под базальтами, на глубинах 99—218 км, залегают осадочные породы 8-й группы (доломиты), а еще ниже, в интервале 218—723 км, — осадочные (кремнистые) породы 10-й группы. Практически на всех участках в верхней части разреза над базальтами расположены осадочные породы 7-й группы (известняки).

4. На участках расположения активных гейзеров зафиксированы факты миграции водорода в атмосферу.

5. Живая вода на границе синтеза 57 км, а также в базальтах характеризуется высокими отрицательными значениями ОВП.

Рекогносцировочные исследования на участках расположения кимберлитовых трубок (вулканов) показывают, что вулканические структуры разного типа (заполненные осадочными, метаморфическими и магматическими породами) могут находиться недалеко друг от друга. Так, рядом с алмазоносной кимберлитовой трубкой Удачная (корень на глубине 723 км) расположен вулкан, заполненный осадочными породами 1—6-й группы (корень на глубине 470 км), в котором на границе синтеза углеводородов зафиксированы отклики от нефти, конденсата, газа, янтаря, углекислого газа и фосфора. Можно предположить, что выброс газа на участке расположения трубки Удачная (см. рис. 4, з) был обусловлен разбуриванием газоносного пласта в этой вулканической структуре.

Оригинальная процедура определения в разрезе участков обследования типов пород (осадочных, метаморфических, магматических) в комплексе с методикой интегральной оценки значений структурных параметров разреза предоставляет возможность оперативно устанавливать на площадях исследований типы вулканических структур (комплексов), а также полезные ископаемые, формируемые этими комплексами.

Детальными исследованиями на площадях обследования в районах добычи алмазов могут быть обнаружены дополнительные алмазоносные кимберлитовые трубки (вулканы).

Заключение. Установленные инструментальными измерениями особенности (однотипные) геологического строения на 10 локальных участках экспериментальных работ в различных регионах мира могут быть использованы в качестве поисковых признаков при проведении рекогносцировочных и детальных геолого-разведочных работ с целью обнаружения и локализации скоплений геотермальной воды в пределах слабоизученных площадей и участков.

Применение методики интегральной оценки перспектив нефтегазоносности, рудоносности, водоносности крупных блоков и локальных участков на начальных этапах поисково-разведочных работ позволяет существенно ускорить и оптимизировать геолого-разведочный процесс на различные виды полезных ископаемых.

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Багдасарова М.В. Дегазация Земли — глобальный процесс, формирующий флюидогенные полезные ископаемые (в том числе месторождения нефти и газа). *Электронный журнал «Глубинная нефть»*. 2014. №10. С.1621—1644.
2. Русаков О.М. Глобальная инвентаризация измерений концентрации свободного и растворенного в подземных водах молекулярного водорода в земной коре суши. *Геофизический журнал*. 2020. Т. 42, № 6. С. 59-99.

3. Якимчук М.А., Корчагин І.М. Нові свідчення на користь абіогенного генезису вуглеводнів за результатами апробації прямопошукових методів в різних регіонах світу. *Доповіді НАН України*. 2020. № 9. С. 55—62. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.09.055>
4. Якимчук М.А., Корчагин І.М. Результати застосування прямопошукових геофізичних методів для виявлення і локалізації зон скопчення та міграції водню в розрізах Землі і Місяця. *Доповіді НАН України*. 2021. № 1. С. 65—76. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.01.065>
5. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Бахмутов В.Г., Соловьев В.Д. Геофизические исследования в Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г.: мобильная измерительная аппаратура, инновационные прямопоисковые методы, новые результаты. *Геоинформатика*. 2019. № 1. С. 5—27.
6. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Левашов С.П. Прямопоисковая мобильная технология: результаты апробации при поисках скоплений водорода и каналов миграции глубинных флюидов, минерального вещества и химических элементов. *Геоинформатика*. 2019. № 2. С. 19—42.
7. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Прямопоисковая технология частотно-резонансной обработки спутниковых снимков и фотоснимков: результаты использования для определения участков миграции газа и водорода на поверхность и в атмосферу. *Геоинформатика*. 2020. № 3. С. 3—28.
8. CVX Invests in Geothermal Development Co. https://www.rigzone.com/news/cvx_invests_in_geothermal_development_co-02-mar-2021-164769-article/
9. Fadel I., C. Hecker, J. Kimata, et al. Geoscientific Monitoring of Olkaria's Geothermal Motor. 2021. *Eos*. 102. <https://doi.org/10.1029/2021EO153904>
10. Interest in geothermal power has been renewed this month following investments from traditional energy majors. https://futureenergyseriesafrica.com/Articles/geothermal-the-new-energy-transition-frontier?utm_source=visitor_email&utm_medium=email&utm_campaign=_AOW_FESA21_VP_EM01_Introduction-FESA_AOW-engaged_03/21&mkt_tok=MzQ0LUFFWw04OTEAAAF7kSbk8LpvE6XtMan-OR5PDs_WIIImH1jD-SAScUeNqd5tBYi6DxN5ah6ZdG_R51sQH-wFdGlgvK_qkEqjWDfnvRBcKwXlGEPiFyr6v2qZRRK_A
11. Zgonnik V. The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth — Science Reviews*. 2020. Vol. 203. 103140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140>.

Поступила в редакцию 10.11.2020

REFERENCES

1. Bagdasarova M.V. Earth degassing is a global process that forms fluidogenic minerals (including oil and gas deposits). *Electronic journal «Deep Oil»*. 2014. No. 10. P. 1621—1644 (in Russian)
2. Rusakov O.M. A global inventory of concentration measurements of free and dissolved in underground waters molecular hydrogen in the Earth's crust on land. *Geophysical journal*. 2020. Vol. 42, No 6. P. 59—99.
3. Yakymchuk N. A. & Korchagin I. N. New evidence in favor of the abiogenic genesis of hydrocarbons from the results of the testing of direct-prospecting methods in various regions of the world. *Dopovidi NAN Ukraine*. 2020. No. 9. P. 53—60 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.09.053>.
4. Yakymchuk N.A. & Korchagin I.N. The results of direct-prospecting geophysical methods using for the detection and localization of zones of hydrogen accumulation and migration in the Earth and the Moon cross-sections. *Dopovidi NAN Ukraine*. 2021. No. 1. P. 65—76 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.01.065>.
5. Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Bakhmutov V.G., Solovjev, V. D. Geophysical investigation in the Ukrainian marine Antarctic expedition of 2018: mobile measuring equipment, innovative direct-prospecting methods, new results. *Geoinformatyka*. 2019. No.1. P. 5—27 (in Russian).
6. Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Levashov S.P. Direct-prospecting mobile technology: the results of approbation during searching for hydrogen and the channels of migration of deep fluids, mineral substances and chemical elements. *Geoinformatyka*. 2019. No. 2. P. 19—42 (in Russian).
7. Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Direct-prospecting technology of frequency-resonance processing of satellite images and photos images: results of use for determining areas of gas and hydrogen migration to the surface and in the atmosphere. *Geoinformatyka*. 2020. No. 3. P. 3—28 (in Russian).
8. CVX Invests in Geothermal Development Co. https://www.rigzone.com/news/cvx_invests_in_geothermal_development_co-02-mar-2021-164769-article/
9. Fadel I., C. Hecker, J. Kimata, et al. Geoscientific Monitoring of Olkaria's Geothermal Motor. 2021. *Eos*. 102. <https://doi.org/10.1029/2021EO153904>
10. Interest in geothermal power has been renewed this month following investments from traditional energy majors. https://futureenergyseriesafrica.com/Articles/geothermal-the-new-energy-transition-frontier?utm_source=visitor_email&utm_medium=email&utm_campaign=_AOW_FESA21_VP_EM01_Introduction-FESA_AOW-engaged_03/21&mkt_tok=MzQ0LUFFWw04OTEAAAF7kSbk8LpvE6XtMan-OR5PDs_WIIImH1jD-SAScUeNqd5tBYi6DxN5ah6ZdG_R51sQH-wFdGlgvK_qkEqjWDfnvRBcKwXlGEPiFyr6v2qZRRK_A
11. Zgonnik V. The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth — Science Reviews*. 2020. Vol. 203. 103140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140>.

Receive 10.11.2020

М.А. Якимчук¹, І.М. Корчагин²

¹ Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії,
пров. Лабораторний, 1, м. Київ, 01133, Україна,
e-mail: yakymchuk@gmail.com

² Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна,
e-mail: korchagin.i.n@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ГЛИБИННОЇ БУДОВИ НА ДІЛЯНКАХ РОЗТАШУВАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ І ГЕЙЗЕРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ОБРОБКИ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ТА ФОТОЗНІМКІВ

Наведено результати застосування мобільної прямопошукової технології частотно-резонансної обробки та інтерпретації супутникових знімків і фотознімків майданчиків розташування геотермальних електростанцій (Кенія, Ісландія, Філіппіни, Камчатка), гейзерів і кімберлітових трубок, а також ділянок міграції водню і метану в атмосферу. Проведено дослідження рекогносцирувального характеру з метою вивчення особливостей глибинної будови ділянок, геотермальні ресурси яких уже використовують і можуть бути використані в майбутньому. В процесі частотно-резонансної обробки фотознімків на всіх обстежених ділянках зафіксовано відгуки на частотах фосфору, водню, живої води і базальтів. Інструментальні виміри показали, що синтез живої води відбувається на поверхні (глибині) 57 км. Поза межами розміщення геотермальних джерел, в тому числі в районах довгожителства і на ділянках водневої дегазації, жива вода синтезується на поверхні 68 км. У розрізах обстежених ділянок базальти і габро розміщуються у верхній частині, в інтервалі глибин до 99 км. Під базальтами, на глибинах 99—218 км залягають осадові породи 8-ї групи (доломіти), а ще нижче, в інтервалі 218—723 км, — осадові (крем'яністі) породи 10-ї групи. У верхній частині розрізу, над базальтами поширені осадові породи 7-ї групи (вапняки). На ділянках розміщення активних гейзерів зафіксовано факти міграції водню в атмосферу. Жива вода на поверхні синтезу 57 км, а також у базальтах характеризується високими від'ємними значеннями окисно-відновного потенціалу. Встановлені інструментальними вимірами особливості (однотипні) геологічної будови на 10 локальних ділянках експериментальних робіт у різних регіонах світу можуть бути використані як пошукові ознаки для проведення рекогносцирувальних і детальних геологорозвідувальних робіт з метою виявлення та локалізації скупчень геотермальної води в межах слабовивчених площ і ділянок.

Ключові слова: водень, геотермальна енергія, електростанція, гейзер, водень, базальти, доломіти, кімберліти, алмази, жива вода, абіогенний генезис, вулкан, прямі пошуки, глибинна будова, нафта, газ, хімічні елементи, зондування розрізу, обробка даних дистанційного зондування Землі.

Н.А. YAKYMCHUK¹, I.N. KORCHAGIN²

¹ Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry,
Laboratory Lane, Kyiv, 01133, Ukraine,
e-mail: yakymchuk@gmail.com

² Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,
32, Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine,
e-mail: korchagin.i.n@gmail.com

DIRECT-PROSPECTING TECHNOLOGY OF FREQUENCY-RESONANCE PROCESSING OF SATELLITE IMAGES AND PHOTO IMAGES: POTENTIAL OPPORTUNITIES AND PROSPECTS OF APPLICATION FOR NATURAL HYDROGEN ACCUMULATIONS SEARCHING

Purpose. The results of application of mobile direct-prospecting technology of frequency-resonance processing and interpretation of satellite images and photographs of sites of geothermal power plants (Kenya, Iceland, Philippines, Kamchatka), geysers and kimberlite pipes, as well as areas of hydrogen and methane migration into the atmosphere are presented. Experimental reconnaissance studies were carried out to study the features of the deep structure of areas, the geothermal resources of which are already being used and may be used in the future.

Design/methodology/approach. The developed mobile and low-cost technology includes modified methods of frequency-resonance processing and decoding of satellite images and photo images, vertical electric-resonance sounding (scanning) of a cross-section, as well as a method of integrated assessment of the prospects of oil and gas potential of large prospecting blocks and license areas. Separate methods of this direct-prospecting technology are based on the principles of the “substance” paradigm of geophysical research, the essence of which is to search for a specific substance - oil, gas, gas condensate, gold, zinc, etc.

Findings. During frequency-resonance processing of photographs in all surveyed areas, responses were recorded at the frequencies of phosphorus, hydrogen, living water and basalts. Instrumental measurements showed that the synthesis of living water occurs on the surface (depth) of 57 km. Outside of the geothermal sources location, in areas of longevity and in areas of hydrogen degassing including, the synthesis of living water is carried out on the surface of 68 km. In the cross-sections of the surveyed areas, basalts and gabbros are located in the upper part, within an interval of up to 99 km. Under the basalts, at depths of 99—218 km, there are sedimentary rocks of the 8th group (dolomites), and even lower, in the interval 218—723 km, there

are sedimentary (siliceous) rocks of the 10th group. In the upper part of cross-section, above the basalts, there are sedimentary rocks of the 7th group (limestones). In areas of active geysers are location, facts of hydrogen migration into the atmosphere have been recorded. Living water at the synthesis boundary of 57 km, as well as in basalts, is characterized by high negative values of the redox potential (ORP).

The practical significance and conclusions. The features (of the same type) of the geological structure, established by instrumental measurements at ten local sites of experimental work in different regions of the world, can be used as search signs, when conducting reconnaissance and detailed exploration work in order to detect and localize accumulations of geothermal water within poorly studied areas and sites. The application of the methodology of integral assessment of the prospects for oil and gas content, ore content, water content of large blocks and local areas at the initial stages of prospecting and exploration work provides an opportunity to significantly accelerate and optimize the exploration process for various types of minerals.

Keywords: *geothermal energy, power plant, geyser, hydrogen, basalts, dolomites, kimberlites, diamonds, living water, abiogenic genesis, volcano, direct exploration, deep structure, oil, gas, chemical elements, sounding of the cross-section, remote sensing data processing.*