

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ТЕРМОРАЗВЕДКИ КРИОЛИТОЗОНЫ

В. Югин, В. Агачев, И. Мясников

ООО «Комплексные геохимические исследования», г. Черноголовка, dtr-group@bk.ru

APPLICATION OF COSMIC THERMOVISION INFORMATION FOR EXPLORATION OF FROZEN ZONES IN GROUND

V. Yugin, V. Agachev, I. Myasnikov

LLC «Complex Geochemical Researches», Chernogolovka, dtr-group@bk.ru

Цель доклада: внедрить в практику геокриологических исследований метод использования данных космических тепловизионных съемок Земли для глубинного картирования геотермического поля и толщ многолетнемерзлых пород. Доклад не отображает завершённую работу по мерзлотоведению, а содержит идеи сформировавшиеся у авторов в результате региональных дистанционных термометрических исследований подземной гидросферы в Сибири и в других регионах.

Развитие геокриологии тесно связано со скважинной геотермией. Геотермический метод в исследованиях криолитозоны является не единственным, но традиционным, причем прямым, методом определения мерзлой толщи. Геотеплофизическое направление в мерзлотоведении развивалось наиболее интенсивно во второй половине прошлого века. Измерения температуры в скважинах стали обязательными при проведении геокриологических и гидрогеологических исследований. Скважинной геотермией установлено, что процессы промерзания и оттаивания пород влияют на динамику геотемпературного поля, изменяют теплофизические свойства и проницаемость пород, изменяют водопродвижающие пути; криогенные водоупоры уменьшают долю конвекционной составляющей теплового потока. Формирование многолетнемерзлой толщи (ММТ) зависит от радиационно-теплового баланса, и на мощность ее влияет внутриземной тепловой поток. Доказано, что необычайно мощная криолитозона восточной части Сибирской платформы образована в условиях аномально низкого теплового потока [1, 2, 3]. Однако, возможности получения новой информации скважинным методом по многим регионам ограничены размещением и объемами буровых работ. Получение сведений о геотермических параметрах в районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП) сопряжены, кроме того, с методическими и техническими трудностями скважинных геотермических измерений. В этих условиях приобретают важное значение бесскважинные неконтактные методы объемного картирования структуры внутриземного теплового поля. Таким методом может явиться дистанционная терморазведка (ДТР) по данным космической тепловизионной съемки. Гидрогеологические работы методом ДТР на платформах и щитах в 2005-2012 гг показали эффективность метода для картирования флюидно-конвективных потоков на глубинах достигающих 5 км. До настоящего времени непосредственно для определения мерзлой толщи этот метод не применялся, но геотермические и флюидодинамические результаты, полученные при поисках подземных вод, свидетельствуют о возможностях широкого применения его для картирования криолитозоны. Возможности обусловлены физическими основами метода и геотермическими особенностями самой криолитозоны.

Дистанционная терморазведка – пассивный физический метод исследования геотермического поля путем бесконтактной регистрации и последующего анализа идущего от Земли теплового электромагнитного излучения. Исходные данные получают тепловыми съемками с аэрокосмических носителей в диапазоне ЭМВ – 7,5-13,5 мкм. В этом диапазоне регистрируется не отражение от солнечного освещения, а собственное тепловое излучение Земли. Тепловое излучение исходит ото всех объектов. Эмиссия происходит за счет внутренней энергии объекта, находящегося при определенной температуре. Общая излучаемая энергия пропорциональна температуре объекта в 4-й степени (Стефана-Больцмана закон излучения). В тепловом излучении заключена информация о глубинных процессах, происходящих внутри излучающего объекта [4]. Между объектами происходит теплообмен излучением. Все формы переноса тепла – кондукция, конвекция, диффузия – сопровождаются излучением. Глубинное тепловое излучение постоянно пронизывает земную кору и рассеивается в космическом пространстве. Излученную Землей энергию на высоте фиксирует тепловой радиометр (тепловизор). В исходной матрице наблюдаемых значений содер-

жаты сигналы от гелиозоны и эндотермики, которые различаются по аномально-частотным параметрам. На основе дифференцированности этих параметров зондирование глубинного строения теплового поля Земли выполняется методами фильтрации, последовательного увеличения температурной чувствительности и селективного поглубинного проникновения в геологический разрез.

Алгоритм действий в дистанционной терморазведке осуществляется в следующей последовательности: получение цифрового изображения интенсивности теплового ИК излучения → нормирование количественных значений яркостной температуры → преобразование путем амплитудно-частотной фильтрации числового массива из матрицы 2D в пространство 3D → ГИС-томографическая интроскопия структуры геотермического поля → применение параметрических способов компьютерной классификации аномалий → тематическая интерпретация.

ГИС-томографическая интроскопия структуры геотермического поля заключается в построении геотермических карт и разрезов по любым заданным направлениям и глубинам до 5 км; по сути действий это автоматическая визуализация результатов геотермического дешифрирования тепловизионной цифровой информации в пространстве 3D.

Таким образом, тепловизионная съемка с космических носителей (Landsat, ASTER, MODIS) является геофизическим методом, регистрирующим излучение электромагнитных колебаний в тепловом ИК диапазоне 7,5-13,5 мкм, и по своей сути существенно отличается от традиционных аэрокосмических методов, имеющих дело с отраженным сигналом в видимом диапазоне волн. Тепловизионные снимки, при наличии соответствующего инструмента обработки и расшифровки, являются информационной основой осуществления геофизической интроскопии эндогенного геотермодинамического поля.

Геофизическая и гидродинамическая интерпретация термометрических данных включает следующие операции: выявление геотермических аномалий, выделение термогидродинамических сегментов, определение направлений термогидродинамики (тепломассопереноса). По геотермическим данным составляются гидродинамические карты и разрезы. Разноглубинный комплект их обеспечивает объемное представление ситуаций.

Основой применения геотермии для исследования гидродинамики является критерий «воды переносят тепло и тепло двигает воды». Вода своим движением создает конвективную составляющую теплового потока. Вода, как наиболее теплоемкое вещество, формирует яркие температурные конвекции.

Динамика флюидов изучается по следующему критерию: конвективно-диффузионный приток глубинных флюидов создает положительные аномалии температур, поверхностных – отрицательные. Если конвекция флюидов идет вверх, то теплопроводный и конвективный тепловые потоки складываются, при инфильтрации вод вниз - вычитаются.

В результате ДТР разрез расчленяется на гидродинамические этажи, отдельно выделяются жильные подземные воды тектонических разломов и трещинных зон, спорадические зоны скрытой разгрузки глубинных вод, окна в водоупорах; указываются места и направления перетоков, движения артезианских бассейнов от областей питания до мест кумуляции или разгрузки.

Эффективность ДТР в картировании гидродинамики может быть распространена на фазовые переходы вода-лед, так как промерзание пород и миграция влаги тесно взаимосвязаны. При этом гидрогеотермическая интерпретация будет отвечать геокриологическим задачам:

- выявление и картирование аномалий эндотермии, влияющих на нижнюю границу ММТ;
- определение распределения роли конвективного теплообмена в протаивании ММП по площади и разрезу; картирование теплового взаимодействия ММП и подземных вод;
- оконтуривание островов ММП в плане и по разрезу, выделение реликтовых, оторванных от поверхности, блоков ММП;
- выявление в ММТ непромерзающих окон инфильтрации поверхностных вод;
- прослеживание безградиентных зон мерзлой части разреза.

В интерпретации будут использоваться такие известные критерии, как:

- мощность ММТ определяется внутриземным тепловым потоком. Наибольшие мощности ММТ приурочены к зонам наименьшего внутриземного теплового потока;
- величина вертикального геотермического градиента в немерзлой и мерзлой зонах различается; в последних минимальная;

- величина внутреннего потока в ММТ намного меньше, чем в нижележащих толщах;
- мерзлые толщи как криогенные водоупоры препятствуют тепловой конвекции;
- коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость горных пород при промерзании увеличиваются.

Выводы: Методика ДТР пригодна для накопления новых данных о геотермии разных районов развития ММТ, особенно, неизученных северных и восточных районов Сибири. Изучая структуру естественного геотермического поля и перераспределения тепловых потоков до километровых глубин, возможно выявление закономерностей распространения ММТ, картирование площадей квазистационарных мерзлых толщ в большом диапазоне глубин. Практически может реализовываться эффект зондирования и прогнозирования глубинной структуры криолитозоны.

Дистанционная терморазведка на основе космических тепловизионных съемок может служить прогрессивным методическим приемом в выполнении региональных геокриологических работ. На первых этапах необходимо изучить глубинные криологические факторы, формирующие вариации геотермических параметров, и определить прямые критерии геокриологической интерпретации карт ДТР.

Экономичность метода обусловлена простотой аэрокосмических способов сбора геотермических данных, без бурения, возможностью оперативно получать новые информационные показатели для решения геокриологических задач прогнозной оценки, в первую очередь, недостаточно исследованных бассейнов, рентабельно проектировать дорогостоящие геофизические и буровые работы. При малых затратах обеспечивается высокая плотность информации на единицу площади.

Достоинством метода является оперативность реализации геоинформационного ресурса, накопленного космическими тепловизионными съемками любой территории, возможность изучения межскважинных пространств и труднодоступных территорий и широкого применения компьютерных технологий.

Литература

1. Балобаев В.Л. Условия формирования температуры и мощности многолетнемерзлых горных пород // Материалы Всесоюзного междуведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). – Якутск: кн. изд-во, 1966. – с. 47-57.
2. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосфера севера Азии. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1991. – 193 с.
3. Левченко А.И. Мощность криолитозоны Якутии // Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии. – Якутск: ИМ СО АН СССР, 1988. – с. 5-11.
4. Макс Планк. Теория теплового излучения: Пер. с нем. / Под ред. М.А. Ельяшевича. Изд. 2-е, стереотипное. – М.: Ком. Книга, 2006. – 208 с.