

Спутниковые и подспутниковые методы исследований наземных гидротермальных экосистем (на примере субарктического термального урочища Пымвашор в Большеземельской тундре)

Е.В. Полякова, М.Ю. Гофаров, Н.Г. Скютте, С.А. Игловский

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, Россия

E-mail: lenpo26@yandex.ru

В пределах материковой части Северной Европы активные гидротермальные проявления известны лишь в Полярном Предуралье (восток Большеземельской тундры). Для исследования термальной экосистемы Пымвашор применялись космические снимки, полученные с искусственных спутников Земли Тетта (EOS AM-1) с радиометром ASTER, летняя аэрофотосъемка с борта вертолета Ми-8 и зимняя с беспилотного летательного аппарата, данные термосъемки портативным компьютерным термографом «ИРТИС-2000А», георадиолокационное сканирование с использованием георадара SIR-3000. В результате составлен послойный ГИС-проект урочища, включающий в себя рельеф и основные ландшафтные фации, термопанорамы мест выходов термальных источников, приповерхностные геологические разрезы с положением уровня термальных вод. Такое комплексное использование спутниковой и подспутниковой информации позволяет сформировать полное и достоверное представление о функционировании уникальной экосистемы в целом.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, подспутниковое зондирование, аэрофотосъемка, тепловые поля, радиолокационное сканирование.

Введение

Значительный интерес для ученых представляют районы, находящиеся под влиянием азональных географических факторов. Одним из таких факторов является разгрузка термальных источников, приводящая к выносу из недр планеты горячих минерализованных вод и газов и формирующая на земной поверхности водотоки с повышенной температурой воды. В настоящее время достаточно детально исследованы экосистемы глубоководных океанических источников. Открытие глубоководных гидротермальных сообществ стало крупнейшим событием в морской биологии последней трети XX в. (Галкин, 2010). В исследованиях гидротермальных систем суши экосистемное направление стало развиваться сравнительно недавно. Наибольший интерес вызывают гидротермы, расположенные в регионах с холодным и умеренным климатом, поскольку в подобных условиях контраст горячих источников с окружающей средой наиболее максимален. Широко известны гидротермальные проявления на северо-востоке Евразии – полуострове Камчатка (Растительный и животный мир..., 2002), полуострове Чукотка (Юрцев и др., 1981), в Байкальском регионе (Тахтеев и др., 2009). В пределах материковой части Северной Европы активные гидротермальные системы практически отсутствуют. Исключение составляют термальные проявления урочища Пымвашор в Полярном Предуралье (восток Большеземельской тундры). В этом ракурсе источники следует рассматривать как уникальный объект для получения количественных данных о структуре и функционировании гидротермальных экосистем в пределах материковой части Европейской Субарктики. Поскольку источники Пымвашор располагаются в труднодоступном и удаленном от населенных пунктов регионе, урочище

сохранилось в слабонарушенном состоянии со всем комплексом естественных водных и наземных экосистем, что повышает его научную ценность.

Коллективом Института экологических проблем Севера УрО РАН с 2009 по 2012 г. проводились экспедиционные работы в районе исследования, по результатам зимних работ опубликована монография (Функционирование..., 2011).

В данной статье авторы хотели показать возможности применения некоторых инструментальных методов, использование которых создает детальную географическую основу для дальнейших фундаментальных исследований уникальной территории учеными естественно-научных специальностей.

Местоположение района исследования

Термальное урочище Пымвашор расположено в Ненецком автономном округе на восточной окраине Большеземельской тундры ($67^{\circ}09'$ с. ш., $60^{\circ}51'$ в. д.). Источники относятся к бассейну реки Адзьва (правый приток реки Усы) и находятся на ручье Пымвашор в 3,7 км по течению до его впадения в Адзьву. В геологическом плане район исследований относится к Уральскому краевому прогибу, в частности, к одной из его наиболее активных складчатых структур – гряде Чернышева. На юге она примыкает к Полярному Уралу (Геология СССР..., 1963). Территория представляет собой холмистую равнину. Климат типично арктический с продолжительной холодной зимой и коротким летом. В широком понимании под урочищем подразумевается часть ландшафта, отличная от остальной окружающей местности. Урочище Пымвашор уникально единственными известными на Крайнем Севере выходами минерально-термальных источников. Название урочища позаимствовано от одноименного ручья (в переводе с языка коми – «ручей горячей воды»), прорезающего известняковые горные породы и образующего живописный каньон. Это группа из восьми источников с общим дебитом 25–30 л/с, температурой воды от 18 до $28,5^{\circ}\text{C}$ круглогодично (Семь чудес..., 2009).

Материалы и методика работ

Для изучения наземных структур урочища использовались данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученные со спутника Terra (EOS AM-1) с радиометром теплового излучения и отражения ASTER (диапазон VNIR 1, 2, 3N, уровень обработки A01, дата съемки 13.07.2003, время $17.09'56''$) и привязанные к топографической основе масштаба 1 : 100000. Сцены обрабатывались в программных продуктах ESRI ArcGIS 10 и ERDAS IMAGINE 9.3. На их основе по стереопаре каналов 3N и 3B построена цифровая модель рельефа (ЦМР). Однако из-за довольно низкого положения солнца (азимут 321,24, 5,60 градусов над горизонтом) имелось множество затененных областей, где качество ЦМР было неудовлетворительным, поэтому она использовалась как дополнительный источник отметок высот на водоразделах. Более качественная ЦМР построена по результатам

оцифровки топографических карт масштаба 1 : 100000 с помощью модуля «Toro to Raster» ГИС-пакета ESRI ArcGIS 10. Данный модуль строит топографически более корректную ЦМР, используя данные об отметках высот и урезов воды, точек внутреннего стока, горизонталей высот рельефа, линий водотоков и поверхностей водоемов. Кроме того, были построены производные от ЦМР модели углов наклона и экспозиции склонов. Для определения общей ландшафтной характеристики региона и выявления территорий с повышенной биомассой за счет кустарниковых зарослей и редколесий использовались сцены со спутника Landsat-7, детальное обозначение границ фаций осуществлялось по материалам аэрофотосъемки.

В ходе экспедиционных работ, проводимых коллективом Института экологических проблем Севера УрО РАН с 2009 по 2012 гг., осуществлены наземные исследования местности. В пределах урочища выделены три термальные зоны, соответствующие основным группам источников. Первая термальная зона (tI) включает три источника (tI-1, tI-2, tI-3), вытекающих из-под вертикальной скалы и расположенных наиболее высоко по течению реки Пымвашор на его левом берегу. Во вторую термальную зону (tII) входят четыре источника так называемой Горячей горы (tII-1, tII-2, tII-3, tII-4). Третья термальная зона (tIII) связана с источником, зарегулированным в искусственный бассейн (tIII-1), – наиболее мощным выходом термальных вод в урочище.

Для составления схемы ландшафтно-гидрологического зонирования урочища использовались данные летней аэрофотосъемки с борта вертолета Ми-8 и зимней с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) CropCam. Формирование ортофотоплана осуществлялось в программном пакете ERDAS IMAGINE 9.3 модуль Stereo Analyst, дальнейшее оформление и геопривязка к пространственным данным проводилось в ESRI ArcGIS 10. Для дешифрирования аэрофотосъемки использовались данные наземных наблюдений – геоботанические описания и GPS-привязка по навигатору Garmin Gpsmap 78. Расчет процентного соотношения ландшафтных фаций в пределах урочища проводился с помощью математического аппарата программного пакета ESRI ArcGIS 10.

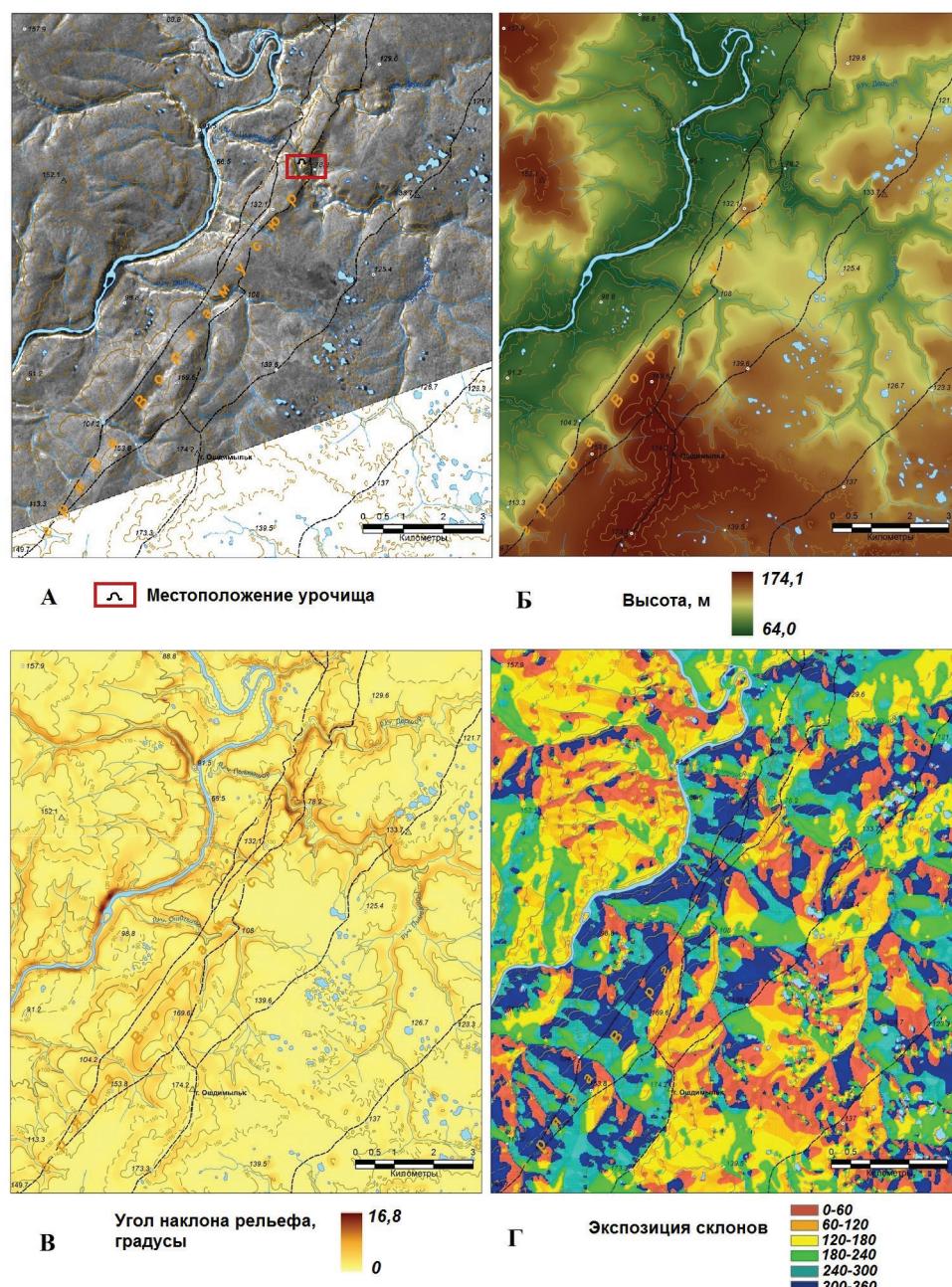
Для измерения теплового поля поверхностей различных природных объектов в инфракрасном диапазоне применялся портативный компьютерный термограф «ИРТИС-2000А». Термограф представляет собой комплект инфракрасной камеры и программного обеспечения «IRPREVIEW». Спектральный диапазон термографа составляет 3–5 мкм, базовый диапазон контролируемых температур – от – 60 до +300°C, диапазон рабочих температур – от –30 до +50°C, чувствительность к перепаду температур на уровне 30–0,05°C. В режиме реального времени данные с инфракрасной камеры поступают на портативный компьютер типа «Netbook» с последующей их обработкой в собственной программе, которая предназначена для обеспечения визуализации измерения тепловых полей, а также для хранения и обработки термограмм. Метод является бесконтактным и позволяет обнаружить отклонения распределения температуры по поверхности объекта. В нашем случае вначале проводилось обнаружение мест выходов термальных вод на дневную поверхность с расстояния 100–150 м, затем измерение температур поверхности воды источников в непосредственной близости от них (3–5 м). Контроль температуры воды на каждом объекте осуществлялся контактным способом с помощью термометра ТК-5.06.

Для изучения структуры подстилающих пород ландшафтов использовался георадар SIR-3000 (GSSI, США) с георадиолокационными антеннами Subecho-40 (40 МГц), Subecho-70 (70 МГц, Geoscanners, Швеция), имеющими глубину проникновения сигнала 35 и 25 м, соответственно, и установленными на специальной тележке, снабженной одометром. В пределах урочища выполнено 34 георазреза по двум георадиолокационным профилям с различными показателями диэлектрической проницаемости до глубины 35 м через основные термальные зоны. Частота сканирования георадара составляет 220 сканограмм/сек при разрешении 256 точек (разрядность 16 бит) или 120 сканограмм/сек при разрешении 512 точек. Временной диапазон составляет от 0 до 8000 наносекунд по выбору оператора георадара. Частота передачи информации до 100 кГц. Цветная шкала на георадарограмме кодирует амплитуду каждого сканирования. В программном обеспечении можно выбрать одну из 25 предложенных цветовых схем. При этом белый цвет соотносится с максимальной амплитудой сигнала, а черный означает его низкую амплитуду. Также черный цвет может отображать породы с однородной структурой и с низким диэлектрическим контрастом.

В функционировании георадара SIR-3000 заложены классические принципы радиолокации. Антенной прибора излучаются ультракороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), которые имеют от 1 до 1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучений. Проникая в землю через различные горизонты пород, некоторая часть энергии волны отражается от границы между пластами и направляется в обратном направлении к поверхности, а часть энергии, проникает вглубь. Энергия отраженной волны принимается на поверхности антенной, усиливается и преобразуется в цифровой вид. Затем сигнал обрабатывается и отображается на дисплее в зависимости от времени по вертикальной шкале. Отражения вызываются наличием границ между веществами в грунте с разными диэлектрическими свойствами. Камеральные работы по дешифрированию георадарных профилей проводились с применением стандартного программного комплекса обработки данных георадиолокации RADAN 6.5. Обработка георадиолокационных зондирований велась однотипно для всех профилей. Целью обработки явилось преобразование георадиолокационных данных в разрез, отображающий все геологические объекты. Обработка данных включала следующие процедуры: введение данных, преобразование Гильbertа, деконволюция. Амплитуда Гильберт-преобразования соответствует огибающей исходного сигнала. Данный вид математической обработки предназначен для преобразования каждой трассы в один из трех новых видов, которая сводится к тому, что трасса – действительная функция времени – представляется в виде комплексной функции со своими модулем и фазой. Вычисляются именно эти величины как функции времени и в дополнение к ним амплитуда Гильберт-преобразования как функция времени. Метод деконволюции служит для сжатия зондирующего импульса, с которым получена георадарограмма, уменьшения его длительности, соответствующего уменьшению интервала на трассе, «закрытого» отраженной волной, и тем самым повышения возможности выделить на записи оси синфазности отраженных волн от близких границ или объектов (Daniels, 2004).

Результаты работ и обсуждения

Характерной особенностью рельефа изучаемой местности являются вытянутые возвышенности грядового характера, именуемые «мусюрами», возвышающиеся над окружающей равниной на 40–50 м. Ориентировка мусюров в районе исследования приближается к северо – северо-восточной. Урочище занимает положение на западном склоне северной оконечности такой возвышенности – гряде Воргамусюр (Геология СССР..., 1963). Грязь Воргамусюр хорошо просматривается на сценах ASTER в рельфе тундры, и располагается по линии урочище Пымвашор – горе Ошдимыльк и далее на юго-юго-запад (*рис. 1a*). На склонах этой гряды растительность часто имеет богатый облик и обладает большей биомассой.



*Рис. 1. Топографическая основа местности, ЦМР и ее производные:
а – топографическая основа масштаба 1 : 100000 и сцена ASTER;
б – цифровая модель рельефа; в – модель углов наклона; г – модель экспозиции склонов*

Средняя высота рельефа на ЦМР равна 119,2 м (*рис. 1б*), максимальная высота наблюдается на горе Ошдымыльк и составляет 174,2 м. Левый берег реки Адзьвы в целом более обрывистый, чем правый, за исключением участка, где река делает излучину, огибающую урочище Долгая Гора высотой около 174 м. На этом участке правый берег реки Адзьвы характеризуется более высокими значениями углов наклонов. Углы наклонов согласно производной от ЦМР модели варьируют от 0 до 16,8 градусов (*рис. 1в*). Среднее значение угла наклона дневной поверхности составляет 1,7 градуса. Основной вклад в повышение этого показателя вносят обрывистые берега реки Адзьвы, склоны долин ручьев, западный склон гряды Воргамусюр и восточный склон урочища Долгая Гора. Восточный склон гряды Воргамусюр и западный склон урочища Долгая Гора более пологи и переходят в плоские водоразделы со множеством мелких озер и невысоких бугров. Экспозиция склонов района исследований преимущественно северо-западная (азимут 292,5–337,5). Такая экспозиция склонов преобладает на левобережных мусюрах (*рис. 1г*). Склоны долин ручьев на левом берегу имеют в основном западную и юго-западную экспозицию (азимут 202,5–292,5). На правом берегу реки Адзьвы преобладают склоны юго-восточной и восточной экспозиции (азимут 67,5–157,5). Таким образом, склоны мусюров, долин ручьев и водораздельных участков тундры имеют совершенно различную преобладающую экспозицию, что, несомненно, сказывается на характере растительности этих территорий.

По ландшафтной классификации исследуемый район относится к ландшафтам низменных платформенных равнин, моренных в области среднечетвертичного оледенения, местами с лессовидными суглинками (Национальный атлас..., 2008). Растительность таких ландшафтов представлена кустарниками, кустарничковыми и кочкарно-пушицевыми тундрами с карликовой береской и ивами (филиколистной, лапландской и др.). Однако данный район может быть отнесен также и к предтундровым редколесьям (березово-еловые) в сочетании с тундрами (лесотундра). Здесь леса концентрируются преимущественно в долинах рек, но иногда небольшие группы деревьев растут на вершинах и склонах отдельных возвышенностей. В целом же водоразделы полностью безлесны.

На исследуемой территории отепляющий эффект термальных источников проявляется на уровне ландшафтных фаций. Пониженное по отношению к водоразделу положение ручья Пымвашор в рельефе (примерно на 20 м), изгиб реки почти на 180 градусов, создают условия, хорошо защищенные от ветра и подогреваемые теплыми водами. Указанные особенности были выбраны в качестве признаков для выделения границы термального урочища в широком смысле – как части местности, отличной от окружающих участков с преобладанием зональных и интразональных экосистем. Исходя из этого положения, урочище начинается с поворота русла ручья Пымвашор на 90 градусов к зонам разгрузки термальных вод. Влияние отепляющего эффекта зимой на аэрофотоснимках маркируется проталинами и фрагментами еловых и березовых редколесий, нехарактерных для речных долин тундровой зоны. Указанные маркеры отмечаются еще около 800 м ниже по течению ручья от 3-й термальной зоны (*рис. 2*). С боков урочище представляет собой протяженный лог, четко ограниченный скальными обрывами и склонами со стороны водораздела на высоте около 100 м над уровнем моря (Функционирование..., 2011).

По комплексу данных наземных исследований, космической и аэрофотосъемки было выделено несколько отчетливо дешифрируемых ландшафтных фаций, их соотношение приведено в табл. 1.

Таблица 1. Соотношение площадей ландшафтных фаций в пределах урочища

Ландшафтная фация	Площадь, %
Березовые редины	1,29
Еловые редины	7,70
Отмели и берега вдоль ручья Пымвашор	2,12
Кустарники	15,97
Луга	39,96
Скальные выходы и обрывы	1,94
Тундра	31,02
Итого	100,00

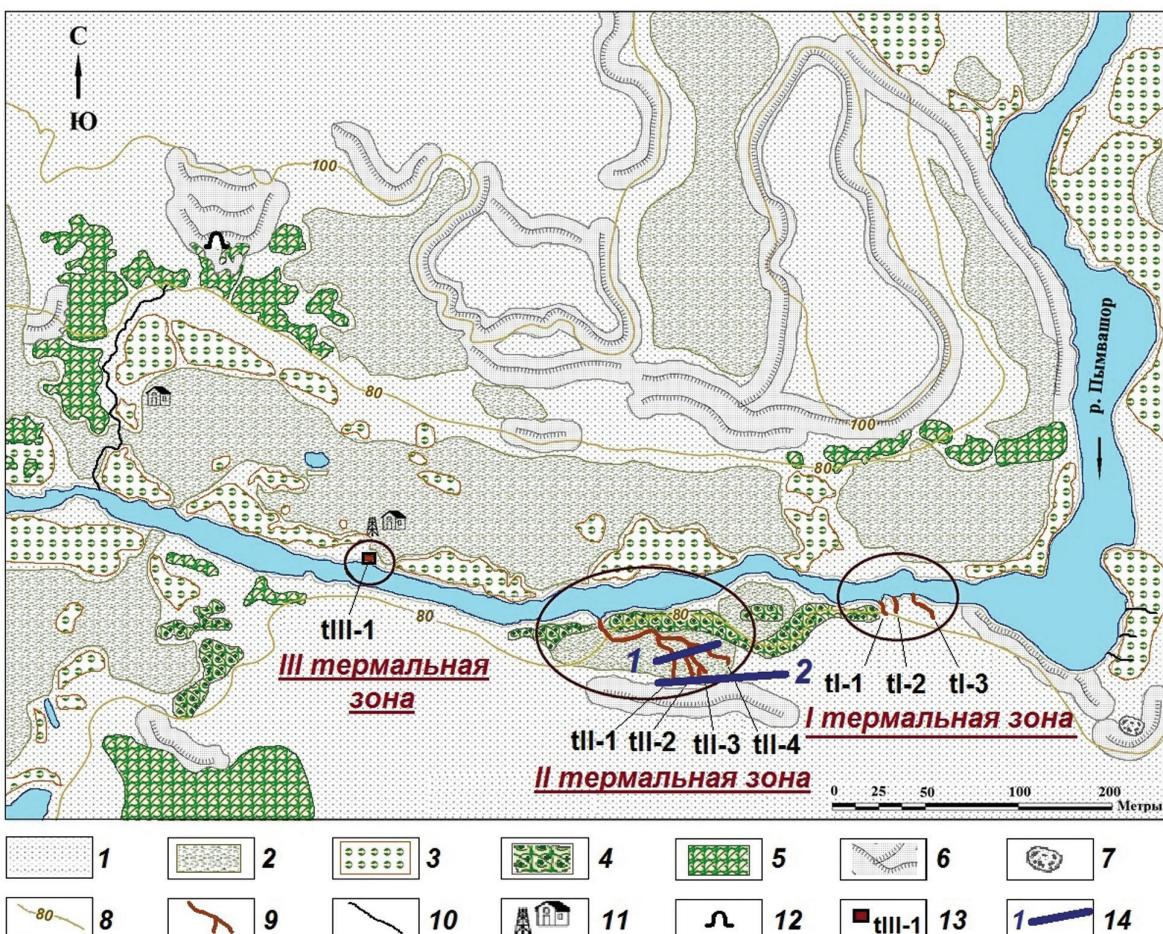


Рис. 2. Схема ландшафтно-гидрологического зонирования урочища Пымвашор:
 1 – тундровые участки; 2 – пойменные луга; 3 – пойменные кустарники;
 4 – березовые редины; 5 – еловые редины; 6 – скальные выходы и обрывы;
 7 – останец; 8 – изолинии рельефа; 9 – термальные водотоки; 10 – холодные ручьи;
 11 – балок и заброшенная буровая вышка; 12 – пещера; 13 – термальный бассейн
 и номер источника; 14 – номер и положение георадиолокационного профиля

Одной из особенностей исследуемого района являются скальные обнажения каменноугольных известняков на обрывах и крутых склонах долины ручья Пымвашор. Суммарная площадь их незначительна, они занимают около 2% территории урочища.

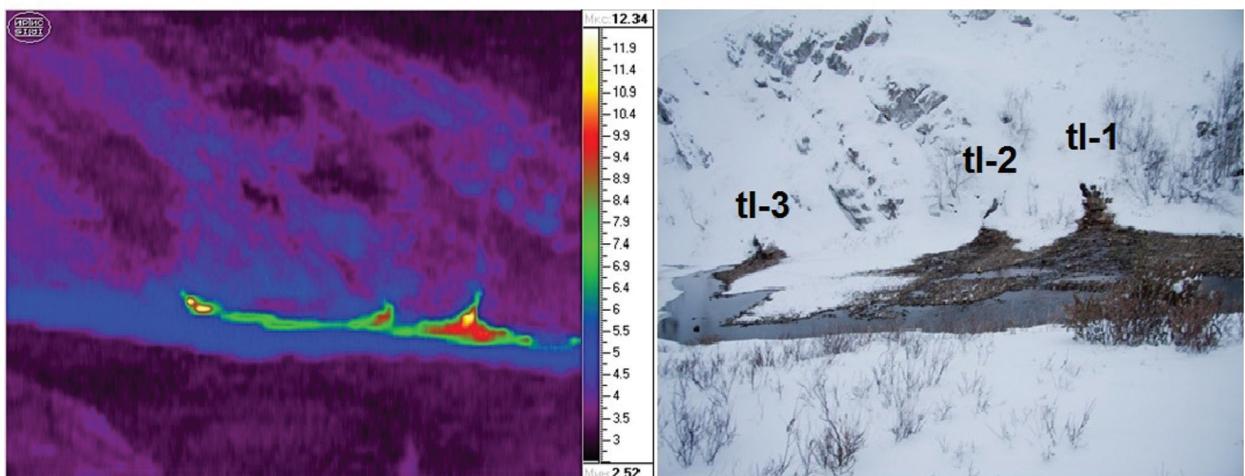
Самой обширной является луговая фация. Она занимает порядка 40% площади урочища. Располагается в основном на левом берегу ручья и представляет собой широкую плоскую пойму. Кустарниковая фация занимает около 16% площади урочища. В основном эта фация распределена по обоим берегам ручья Пымвашор, а также мелких водоемов.

Наиболее интересно распределение нехарактерных для данной территории ландшафтных фаций – березовых и еловых редин. Еловые редины, занимающие порядка 8% площади, как бы окаймляют урочище Пымвашор, произрастаая на крутых склонах по правому берегу ручья. На левом берегу данная фация присутствует по склону долины ручья, однако при приближении к выходам теплых источников происходит ее смена на фацию березовых редин, которая занимает немногим менее 1,3% территории урочища. Березовые редины располагаются на левом берегу ручья и приурочены в основном к 1-й и 2-й термальным зонам.

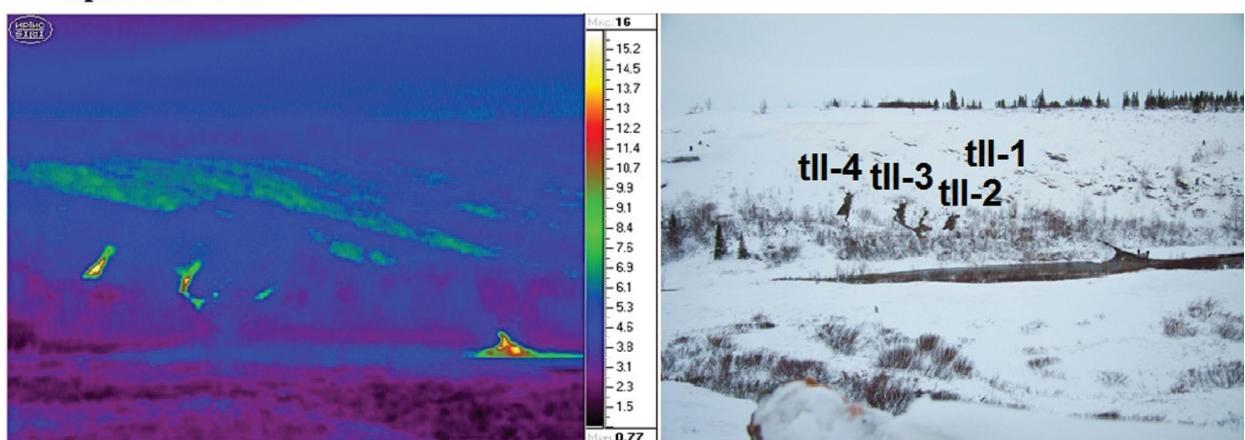
В целом особый микроклимат и геоморфологические особенности территории позволяют рассматривать термальное урочище в качестве своеобразного «гидротермального оазиса» в условиях экстремальной среды тундровых ландшафтов Заполярья (рис. 3).



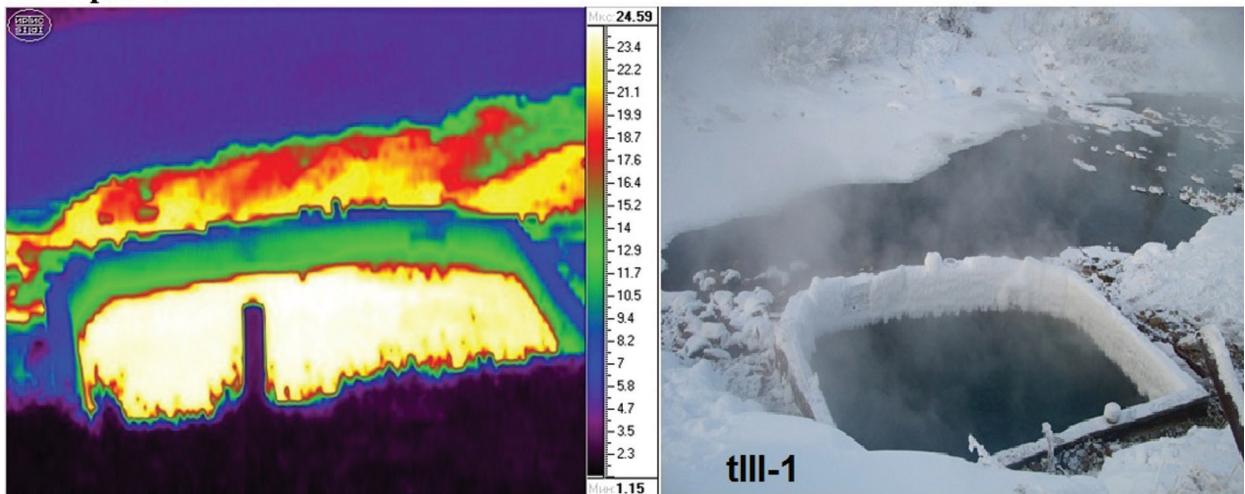
Рис. 3. Панорамный аэрофотоснимок термального урочища Пымвашор с борта вертолета МИ-8 (июль 2009 г.)



I термальная зона



II термальная зона



III термальная зона

Рис. 4. Термоснимки термальных зон в инфракрасном и видимом диапазонах

Связь с температурой – наиболее емкий критерий при анализе пространственных трендов арктической биоты. Это обусловлено холодным климатом в высоких широтах, когда тепло становится основным лимитирующим фактором при формировании видового состава биоты и сообществ (Чернов, 2008). Термографическая съемка инфракрасным термографом позволила определить температурные контрасты вод и прилегающих территорий в местах непосредственного выхода термальных источников на дневную поверхность,

а также проследить распространение теплых вод по течению ручья Пымвашор в пределах уорчища. На *рис. 4* представлены снимки трех термальных зон в видимом и инфракрасном диапазоне. Фотографии в видимом диапазоне приведены для зимнего периода, когда отепляющий эффект термальных источников наиболее нагляден. Минимальная температура воды по данным термографической съемки фиксируется в ручье Пымвашор между 1-й и 2-й термальными зонами ($+0,77^{\circ}\text{C}$). Максимальный показатель температуры ($+24,59^{\circ}\text{C}$) отмечается в 3-й термальной зоне, это температура воды в источнике «Бассейн». Значения температур получены с расстояния 3–7 м. Средняя разница температур между показаниями инфракрасного термографа и контактного термометра ТК-5.06 в среднем составила $1,76^{\circ}\text{C}$ (*табл. 2*).

Таблица 2. Значения температур в источниках по данным инфракрасного термографа и контактного термометра

Термальная зона	Номер источника	Температура		Разница температур
		ИРТИС	ТК	
1-я	tI-1	19,6	20,4	0,8
	tI-2	19,9	20,2	0,3
	tI-3	21,8	22,2	0,4
2-я	tII-1	24,4	27,0	2,6
	tII-2	24,3	26,1	1,8
	tII-3	24,1	26,5	2,4
	tII-4	24,1	26,6	2,5
3-я	tIII-1	25,2	28,5	3,3

Георадиолокационное зондирование применялось для построения приповерхностных геологических разрезов, определения положения уровня термальных вод, границ согласного и несогласного залегания литологических слоев с различным показателем диэлектрической проницаемости. При интерпретации георадарограмм картина георазреза не всегда однозначна. В случае георадиолокационных измерений оси синфазности отраженных электромагнитных волн приурочены в основном к границам слоев с различной литологией. При выделении комплексов пород необходимо установить и проследить в их кровле и подошве несогласные границы. Такими границами раздела в исследуемых средах могут являться контакт между сухими и влагонасыщенными комплексами, контакты между породами различного литологического состава и т.д. (Старовойтов, 2008; Daniels, 2004).

На *рис. 5а* представлен фрагмент георадиолокационного профиля № 1 с выделенными авторами литологическими горизонтами, на котором границы, показанные точками, разделяют влагонасыщенные светло-серые известняки, песчаники (верхняя часть профиля) от аргиллитов со слоистыми известняками. Хорошо выделяются обводненные зоны разгрузки термальных вод, границы которых показаны сплошной линией, в пределах вертикальных разломов, разрывающих эти зоны. По этим каналам, уходящим глубже

35 м, поднимаются термальные воды. Границы между литологическими подразделениями достаточно четкие. Рис. 5б показывает георадарограмму этого же профиля, обработанную методом деконволюции. Использование данного метода усложняет интерпретацию профиля, так как значительное увлажнение территории при обработке данным методом считается кратными волнами, и интенсивность увлажнения на георадиолокационном профиле существенно снижается.

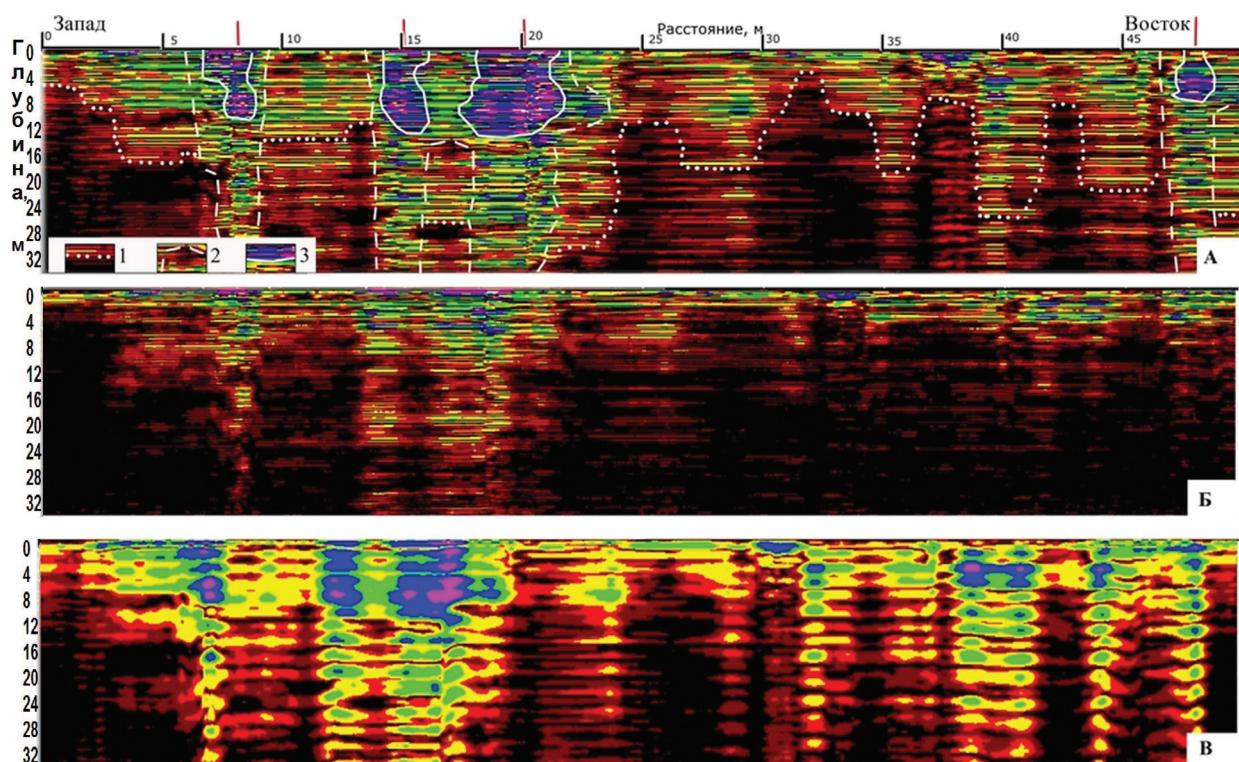


Рис. 5. Фрагмент георадиолокационного профиля № 1 через 2-ю термальную зону.

Границы: 1 – разделяющие влагонасыщенные светло-серые известняки, песчаники от аргиллитов со слоистыми известняками;
2 – вертикальных каналов, по которым поднимаются термальные воды;
3 – наиболее обводненных зон в пределах вертикальных каналов

На рис. 5в приведен этот же профиль с выполненным преобразованием Гильберта. Такое представление бывает полезным при необходимости выделить на георадарограмме области с характерным типом записи, отличающимся от соседних областей профиля более высокой или более низкой энергией сигнала (Владов, Старовойтов, 2004). Применение этого метода обработки существенно подчеркивает границы между литологическими слоями и упрощает дальнейшую его интерпретацию, так как мгновенная частота указывает на участки записи с различным частотным составом, что не так четко наблюдается на исходной георадарограмме.

По данным геологических разрезов в урочище Пымвашор (Першина, 1962) отложения до 35 м представлены мелкокристаллическими светло-серыми известняками, которые выделены однородным массивом, с единой литологией и стратиграфией. При этом можно выделить косослоистое залегание пород, что, по-видимому, связано с их смятием в результате раздробления урочища разломами и вымывания песчаников

из нижележащих горизонтов. Со структурами подобного типа связана восходящая деятельность подземных термальных источников, по которым поднимаются и разгружаются воды 2-й термальной зоны.

Выводы

Гряда Чернышева отличается весьма специфическим геолого-тектоническим строением, а именно наличием систем активных глубинных разломов, по которым осуществляется разгрузка пластовых подземных вод. Поскольку эти воды идут с большой глубины, они отличаются повышенной температурой. В местах их подтока в мерзлых толщах формируются сквозные талики, иногда довольно значительные по площади. Выходы термальных вод на дневную поверхность известны только для центральной части гряды Чернышева, в урочище Пымвашор. Здесь имеет место подъем по тектоническому разрыву минерализованных пластовых вод из девонских отложений (Гидрогеология СССР..., 1970).

Для высокоширотных регионов, в условиях сильного дефицита тепла, участки ландшафтов с наличием эндогенного геотермального подогрева приобретают особую роль в формировании биоценотического покрова, однако чаще всего они занимают сравнительно небольшую площадь. Данные ДЗЗ позволили обозначить границы исследуемой территории в пределах Большеземельской тундры, а в комплексе с аэрофотосъемкой – выделить ландшафтные фации внутри урочища. Вследствие пониженного положения долины ручья Пымвашор в рельфе по отношению к водоразделу и одновременного изгиба реки практически на 180 градусов, образуются условия для развития нехарактерной для тундры растительности. Ядром урочища является ручей Пымвашор, который окаймляют последовательно кустарниковая и луговая фации, фация еловых редин, и, наконец, границей урочища можно считать скальные обнажения и крутые склоны, выходящие на водораздельную тундру. Березовая фация является локальной и приурочена исключительно к выходам теплых вод.

Применяемый в исследованиях термографический метод визуализации и регистрации собственного инфракрасного излучения объектов позволил проследить распределение теплых вод источников в ручье Пымвашор, обозначить границы территорий, прилегающих к местам выходов источников и подверженных их тепловому эффекту. Особенность данного метода заключается в том, что с его помощью можно определить и измерить тепловое поле поверхности любого объекта дистанционно, без вмешательства непосредственно в сам объект.

По данным георадиолокационного зондирования выделены вертикальные зоны повышенной неоднородности (раздробленности) и обводненности подстилающих пород ландшафтов, по которым разгружаются термальные воды. Георадиолокационное сканирование участка над горячими источниками (2-я термальная зона) выявило ряд клиновидных структур, проникающих на глубины свыше 35 м. Видимо, с подобного рода структурами связана восходящая деятельность термальных источников и их разгрузка.

Таким образом, комплексный подход в использовании спутниковой и подспутниковой информации позволяет сформировать географическую основу с выделением наземных абиотических компонентов, занесенных в ГИС-среду для дальнейшего ее применения в изучении биотической составляющей уникальной местности.

Литература

1. *Андреев Г.Г., Беляева Н.В., Чабан Л.Н.* Комплексное использование материалов космической и аэрофотосъемки в геоинформационных технологиях экологического мониторинга труднодоступных территорий Сибири и Крайнего Севера // Исследование Земли из космоса. 2004. № 4. С. 63–72.
2. *Владов М.Л., Старовойтов А.В.* Введение в георадиолокацию. М.: МГУ, 2004. 153 с.
3. *Галкин С.В.* Структура и география гидротермальных сообществ Мирового океана // Журнал общей биологии. 2010. Т. 71. № 3. С. 205–218.
4. *Першина А.И.* Силурийские и девонские отложения гряды Чернышева. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1962. 118 с.
5. *Старовойтов А.В.* Интерпретация георадарных данных. М.: МГУ, 2008. 192 с.
6. *Тахтев B.B., Галимзянова A.B.* Байкальские родники // Экология и жизнь. 2009. № 3. С. 40–45.
7. *Чернов Ю.И.* Экология и биогеография. Избранные работы. М.: Товарищество научных изданий «КМК», 2008. 580 с.
8. *Юрцев Б.А., Крюков Ю.В., Катенин А.Е. и др.* Экосистемы термальных источников Чукотского полуострова. Л.: Наука, 1981. 144 с.
9. Геология СССР. Том II. Архангельская, Вологодская области и Кomi АССР. Часть первая. Геологическое описание / Под ред. А.И. Зоричева. М.: Гос. научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр, 1963. 1080 с.
9. Гидрогеология СССР. Т. 42. Кomi АССР и Ненецкий национальный округ Архангельской области РСФСР. М.: Недра, 1970. С. 180–191.
10. Национальный атлас России. Том 2. Природа и экология. М.: ФГУП «Госгисцентр», 2008 (на CD-ROM).
11. Растительный и животный мир Долины гейзеров. Петропавловск-Камчатский: Камчат. печат. двор, 2002. 304 с.
12. Семь чудес света в одном регионе // Северо-Запад: сегодня и завтра. СПб.: Ассоциация «Северо-Запад», 2009. № 4 (7). С. 31–34.
13. Функционирование субарктической гидротермальной экосистемы в зимний период / Под ред. К.Г. Боголицына, И.Н. Болотова. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 252 с.
14. *Daniels D.* Ground-penetrating radar. 2 ed. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2004. 734 p.

Satellite and subsatellite methods of researches of ground hydrothermal ecosystems (using as an example the thermal natural boundary Pymvashor in Bolshezemelskaya tundra)

E.V. Poljakova, M.J. Gofarov, N.G. Skutte, S.A. Iglovskiy

*Institute of Ecological Problems of the North UD RAS, Arkhangelsk, Russia
E-mail: lenpo26@yandex.ru*

Within the mainland of northern Europe active hydrothermal outputs are known only in the Polar Urals (East part of Bolshezemelskaya tundra). To study of the thermal ecosystem Pymvashor used satellite images obtained from satellites Terra (EOS AM-1) with a radiometer ASTER, summer aerial photographs from a helicopter Mi-8 and winter with an unmanned aerial vehicle, the data heat imagery portable computer thermograph «IRTIS-2000A», georadar scans with using georadar SIR-3000. As a result, made a layered GIS project natural boundary, including the relief and basic landscape facies, thermal panorama places the outputs of thermal springs, subsurface geological sections with the position of the level of thermal waters. Such an integrated use of satellite and subsatellite information allows you to create a full and reliable presentation about functioning of a unique ecosystem.

Keywords: remote sensing of Earth, subsatellite sounding, air photography, thermal fields, radar scanning.