

## Использование тепловых снимков со спутника Landsat 7 при картографировании тундровых ландшафтов на примере участка газопровода «Бованенково – Байдарацкая Губа»

**С.Г. Корниенко**

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва  
E-mail: [spaceakm2@ogri.ru](mailto:spaceakm2@ogri.ru)

**Аннотация.** На примере тестового участка газопровода «Бованенково – Байдарацкая Губа» (полуостров Ямал) рассмотрена возможность использования тепловых изображений со спутников Landsat 7 для характеристики и уточнения степени дренирования поверхностей при картографировании тундровых ландшафтов. Изображения, характеризующие температуру и влажность поверхности на основе данных со спутника Landsat 7 1999 и 2000 гг. съемки, имеют достаточно высокую повторяемость и хорошее соответствие грациям степени дренирования согласно ландшафтной карте (масштаб 1:10 000), построенной с использованием снимка со спутника GeoEye-1. После ряда преобразований тепловые изображения со спутника Landsat 7 с исходным пространственным разрешением 60 м могут быть использованы в качестве дополнительного материала для характеристики и уточнения степени дренирования поверхности тундровых ландшафтов, в том числе при крупномасштабном тематическом картографировании.

**Ключевые слова:** ландшафтная карта, степень дренирования поверхности, Landsat, температура, влажность, тундровый ландшафт.

**Для цитирования:** Корниенко С.Г. Использование тепловых снимков со спутника Landsat 7 при картографировании тундровых ландшафтов на примере участка газопровода «Бованенково – Байдарацкая Губа» // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 3(30). С. 51–63. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art6>

### Введение

Безопасность функционирования объектов нефтегазового комплекса в арктических и субарктических районах во многом определяется достоверностью информации, характеризующей инженерно-геологические и геокриологические условия на участках их строительства. Важнейшая роль при создании ландшафтно-индикационных карт и карт геокриологического районирования на территориях распространения многолетнемерзлых пород отводится методам дешифрирования аэрофотоснимков

и космических снимков [1, 2]. Приуроченность участков к типам ландшафта и геокриологическим условиям, как правило, определяется по геоморфологическим, геоботаническим и гидрологическим индикаторам, выявляемым на панхроматических и мультиспектральных (цветных) изображениях в видимом диапазоне длин волн. По данным полевых наблюдений на тестовых участках устанавливается вероятностная связь между типами ландшафта, геокриологическими условиями и характеристиками геоиндикаторов.

К числу важнейших показателей, характеризующих особенности криогенных ландшафтов, относится степень дренирования поверхности, которая, в основном, определяется по особенностям микро- и мезорельефа, а также видам напочвенного растительного покрова. Возможность использования тепловых изображений, получаемых с космических аппаратов и воздушных носителей для картографирования криогенных ландшафтов и, в частности, для характеристики степени дренирования поверхности, до настоящего времени практически не рассматривалась. В то же время опыт исследований в области дешифрирования тепловых изображений свидетельствует о достаточно высокой их информативности в задачах ландшафтного картографирования и, в первую очередь, для характеристики влажности поверхностных покровов [3]. Цель работы – оценка возможностей и перспектив использования тепловых изображений со спутников Landsat при создании и уточнении ландшафтных карт и карт геокриологических условий для районов арктических и субарктических тундр.

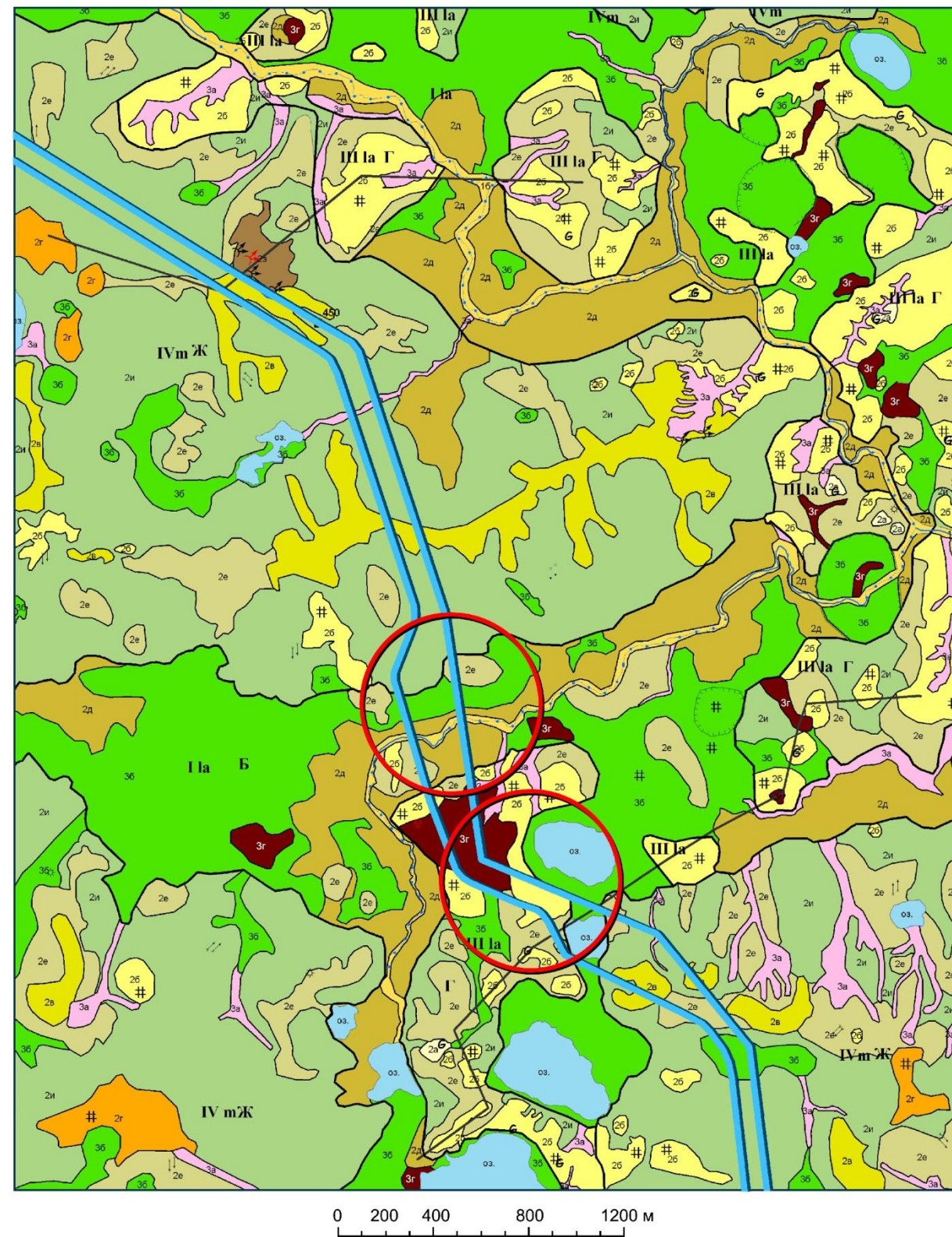
#### **Характеристика района исследований**

В качестве объекта исследований был выбран тестовый участок на трассе магистрального газопровода «Бованенково – Байдарацкая Губа», проложенной в юго-западной части полуострова Ямал и составляющей северную часть газопровода «Бованенково – Ухта». Территория прохождения этой части трассы относится к субарктическим тундрам со сплошной мерзлотой и широким

распространением подземных льдов различного генезиса, значительная часть которых залегает достаточно близко к поверхности [4]. К настоящему времени от Бованенковского газоконденсатного месторождения до Байдарацкой губы проложено две нитки газопровода протяженностью около 80 км. Применен подземный способ прокладки трубопровода на глубину 4–5 м в мерзлые грунты с охлаждением газа до  $-2^{\circ}\text{C}$ , что, в соответствии с проектом, должно снизить риски развития деформационных процессов в трубопроводе за счет смерзания с грунтом, поскольку глубина протаивания не превышает одного метра. Растительность низкорослая, представлена преимущественно сочетаниями кустарничкового, мохового, травяного и лишайникового покрова с разной степенью доминирования видов в зависимости от типов ландшафта [5].

В качестве тестового, в данном случае, был выбран один из пяти участков, расположенных вдоль трассы газопровода, для которых ранее в масштабе 1:10 000 были построены ландшафтные карты и карты геокриологического районирования [2]. При создании карт использовались мультиспектральные снимки со спутника GeoEye-1 (съемка 30.07.2010 г.) с пространственным разрешением 2,5 м, а также снимки с разрешением 0,5 м в панхроматическом канале. Размеры исследуемого участка 4×5 км, координаты центра участка –  $69^{\circ}52'05.35''$  СШ;  $68^{\circ}17'20.98''$  ВД. На рис. 1 приведена ландшафтная карта тестового участка и даны условные обозначения к ней.





**Условные обозначения:**

<b>Типы ландшафтов</b>	<b>Типы местностей</b>
IV-Vm - четвертая и пятая морская равнина нерасчленённая	A - озёрно-котловинный
IVm - четвертая морская равнина	Б - плоский озёрно-болотный
IIIм - третья морская терраса	В - хасырейный
IIм - вторая морская терраса	Г - ложбинно-долинный
I-II la - первая и вторая озёрно-аллювиальная терраса	Е - мелкохолмистый
0а - речная пойма	Ж - крупнохолмистый
	<b>Типы урочищ</b>
1 - пойменные	
1б - долины ручьёв с разнотравно-злаковыми ивняками, фрагментами болот и торфяников	
2 - водораздельные	
а) террасовые и вершинные поверхности	
2а - дренированные поверхности, с обилием песчаных раздувов, лишенных растительного покрова	
2б - дренированные поверхности с полигональными кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами, с мелкими песчаными раздувами	
2в - дренированные пятнисто-медальонные бугорковатые поверхности с травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами	
2г - плоские и наклонные поверхности, слабодренированные с полигональными кустарничково-лишайниково-моховыми тундрами	
2д - слабодренированные поверхности с травяно-моховыми ивняками	
б) склоновые поверхности	
2е - слабокосые поверхности и пологие склоны с пятнами-медальонами, солифлюкционными террасками, заболоченными мочажинами с травяно-ерниково-моховыми тундрами	
2з - склоны с термоцирками и сплывинами, с уступами и гребнеобразными останцами, озёрками, травяно-кустарничковые	
2и - подножья склонов с высокими травяно-моховыми ивняками с фрагментами луговой растительности и редкими мочажинами	
3 - локальные отрицательные формы рельефа	
3а - ложбины, полосы стока, лога и овраги с травяными болотами по днищам и травяно-моховыми ивняками по склонам	
3б - днища хасыреев, межхолмовых понижений с кустарничково-моховыми болотами, с фрагментами кочковатых тундр и полигональных торфяников	
3г - плоские поверхности и понижения с полигональными травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми торфяниками	
<b>Криогенные явления</b>	<b>Границы</b>
+ бугры пучения	— ландшафтов
⊖ термокарстовые западины	— местностей
⊕ песчаные раздувы	— урочищ
⚡ сплывы грунта	— границы хасыреев
⚡ солифлюкционные полосы и терраски	— линии геологических разрезов
# полигонально-жильный рельеф	— границы хасыреев
	— уступы рельефа
	— озёра
	<b>Прочие обозначения</b>
	— линия газопровода
	— границы хасыреев
	— уступы рельефа
	— озёра

Рис. 1. Ландшафтная карта тестового участка на трассе газопровода «Бованенково – Байдарацкая Губа» [2]

### Методика исследований

Известно, что температура поверхности чувствительна к изменению содержания влаги в почве и растительном покрове, поскольку теплофизические свойства воды (тепловая инерция) существенно отличаются от теплофизических свойств сухой почвы и сухой растительности. В частности, повышение влажности покрова приводит к росту его тепловой инерции, что в период максимального прогрева в цикле суточных колебаний температуры воздуха проявляется более низкими значениями температуры поверхности [1, 6]. Таким образом, температура поверхности, рассчитанная по данным космической съемки, может служить индикатором влажности (или степени дренирования) поверхностного покрова.

В настоящей работе использовались два мультиспектральных снимка, полученных радиометром ETM+ спутника Landsat 7, с датами съемки 8 августа 1999 г. (11 ч 57 мин, по местному времени) и 10 августа 2000 г. (11 ч 55 мин). Подбор снимков, близких по датам и времени съемки, позволяет повысить достоверность выявления устойчивых аномальных зон на анализируемых спектральных и тепловых изображениях и минимизировать влияние случайных факторов и фенологических фаз растительности.

Пространственное разрешение спектральных изображений в видимой и ближней инфракрасной (ИК) области спектра – 30 м и 60 м в тепловой (дальней ИК области). Сканер ETM+ обеспечивает съемку в тепловой области с радиометрическим разрешением

(отношение сигнал/шум) по радиационной температуре 0,4 К.

Этап предварительной обработки мультиспектральных снимков Landsat включает последовательность операций, реализуемых известными методами и алгоритмами.

К их числу относятся: геометрическая коррекция снимков, приведение их к единой проекции UTM (WGS-84), калибровка тепловых каналов в значения радиационной температуры, формирование фрагментов снимков исследуемого района. Расчет коэффициента излучения ( $\varepsilon$ ) поверхности проводился на основе вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [7], характеризующего объем зеленой массы и содержание хлорофилла в растительном покрове. Индекс MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) [8] использовался для маскирования водных поверхностей, а индекс NDWI (Normalized Difference Water Index) – для оценки изменения содержания влаги в напочвенном растительном покрове [9]. Расчет индексов проводился по формулам:

$$\begin{aligned} \text{NDVI} &= \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}, \\ \text{MNDWI} &= \frac{\rho_2 - \rho_5}{\rho_2 + \rho_5}, \\ \text{NDWI} &= \frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\rho_{2-5}$  – значения коэффициентов отражения в спектральных каналах видимой, ближней ИК области спектра радиометра ETM+.

Расчет коэффициента излучения  $\varepsilon$  проводился по формуле [10]:

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047 \times \ln(\text{NDVI}). \quad (2)$$



Расчет температуры  $T_s$  поверхности покрова (Land Surface Temperature, LST) проводился по формуле [11]:

$$T_s = \frac{T_r}{1 + \left(\lambda \frac{T_r}{k}\right) \ln \varepsilon}, \quad (3)$$

где  $T_r$  – радиационная температура поверхности, вычисленная по данным 6-го (теплого) канала радиометра ETM+;  $\lambda$  – длина волны используемого спектрального (теплого) канала;  $k$  – постоянная величина, равная  $1,438 \cdot 10^{-2}$  м·К. В итоговых построениях все значения температур поверхности даны в °С.

Известно, что достоверность информации, полученной по данным космической съемки, во многом зависит от влияния случайных факторов. В данной работе использовались изображения, построенные по параметрам NDWI и LST, характеризующие влажность почвенного растительного покрова на основе различных физических принципов. Использование индекса NDWI основано на зависимости спектральных характеристик в ближней ИК области от влажности растительного покрова, а параметр LST чувствителен к изменению его теплофизических свойств. Комплексный анализ двух независимых параметров, а также использование данных разновременной съемки позволяют минимизировать влияние случайных факторов и, соответственно, повысить достоверность ландшафтных карт.

Изображения земной поверхности с пространственным разрешением 50–60 м могут использоваться при построении тематических карт масштаба 1:100 000 и мельче [12]. Информативность тепловых изображений с таким разрешением для решения задач ландшафтного картографирования в более крупном

масштабе практически не исследовалась. Для сопоставления с ландшафтной картой (см. рис. 1) масштаба 1:10 000 были проведены дополнительные преобразования изображений параметров LST и NDWI. Преобразования включали увеличение частоты дискретизации, масштабирование, сокращение динамического диапазона (при 99-процентном доверительном интервале), а также интерполяцию сглаживающим фильтром Гаусса с размером окна 15×15 м (в масштабе 1:10 000). Интерполяция не повышает детальность изображений, однако позволяет уточнить наиболее вероятное расположение центров аномальных зон, что важно при сравнении с картами крупного масштаба. Все преобразования изображений со спутника Landsat 7 и анализ данных проводились с помощью программ ENVI 5.3 и MS Excel.

### Результаты исследований

На рис. 2 приведены изображения, характеризующие распределение индекса влажности NDWI (а, б) и температуры поверхности LST (в, г), соответственно в 1999 г. (а, в) и в 2000 г. (б, г). Более «сухим» (дренированным) поверхностям соответствуют области более низких значений индекса NDWI и более высоких значений LST. Эти области условно выделены грациями коричневого тона. Белыми контурами обозначены границы водораздельных урочищ 2а и 2б, относящихся (согласно ландшафтной карте) к наиболее дренированным поверхностям (см. рис. 1). На рис. 2 видно, что практически все они приурочены к низким значениям индекса NDWI и высоким значениям LST, характеризующим участки аномально низкой влажности поверхности.

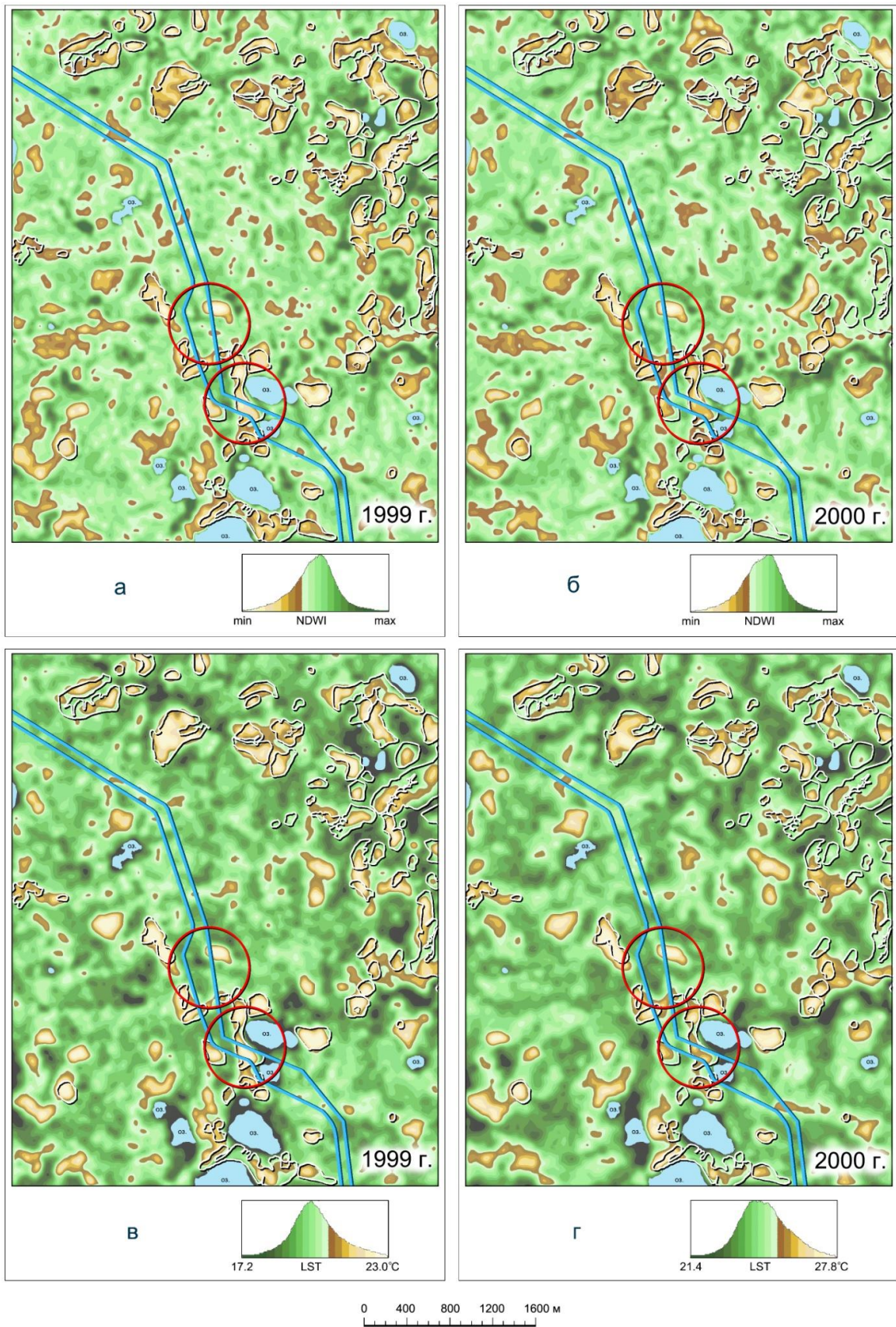
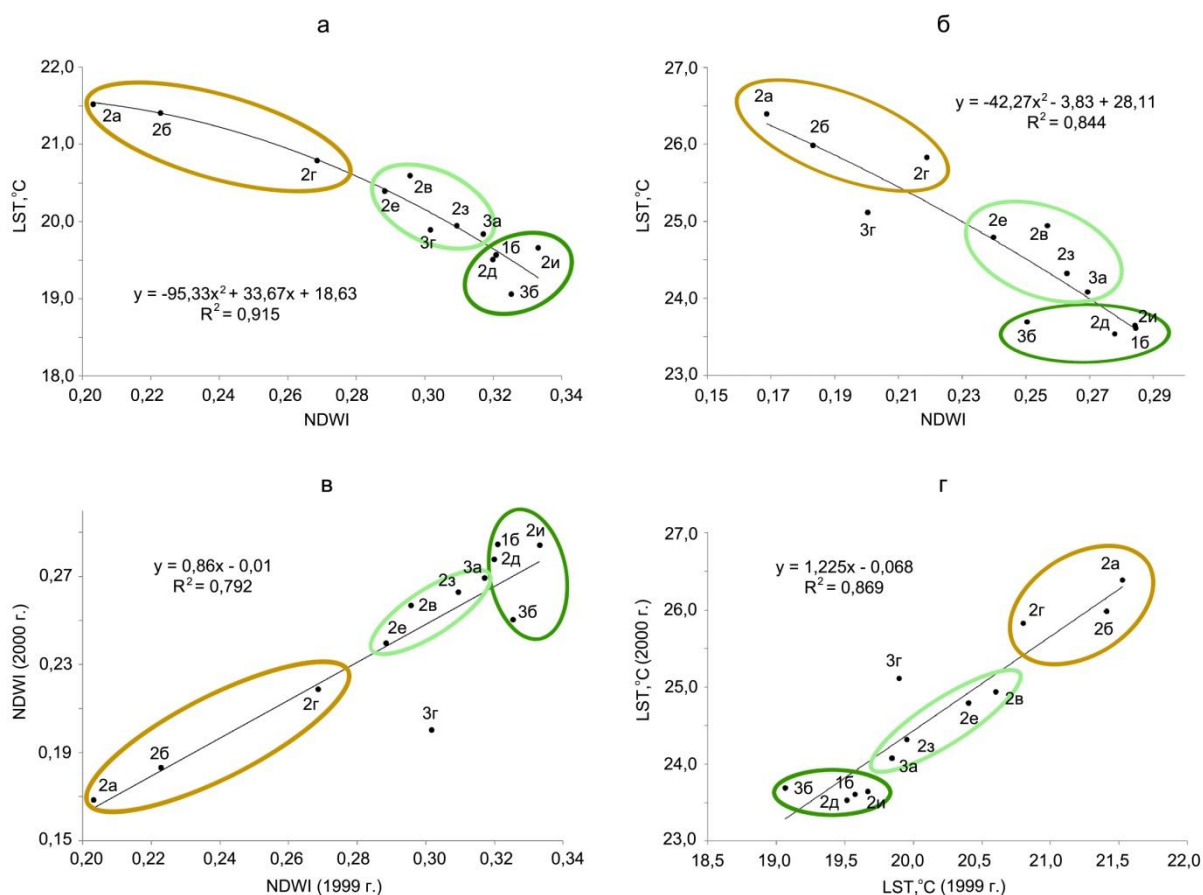


Рис. 2. Изображения, построенные по параметрам NDWI (а, б) и LST (в, г)

Соответствие это не случайно, поскольку подавляющее большинство «сухих» аномальных зон проявляется как по данным 1999 г., так и по данным 2000 г. Следует отметить также достаточно близкое расположение этих зон между собой по индексу NDWI и по параметру LST, что также подтверждает неслучайный характер приуроченности полученных распределений NDWI и LST пространственным вариациям влажности поверхности.

Графики на рис. 3 более подробно иллюстрируют связь параметров NDWI и LST с типами урочищ разной степени дренирования. Зависимости построены по средним значениям параметров NDWI и LST в границах каждого из 12-ти типов урочищ, обозначенных на ландшафтной карте (см. рис. 1). На графиках рядом со значениями параметров указаны типы урочищ в соответствии с условными обозначениями (см. рис. 1).



**Рис. 3.** Графики, характеризующие связь параметров NDWI и LST с типами урочищ: а – NDWI и LST в 1999 г.; б – NDWI и LST в 2000 г.; в – NDWI в 1999 и 2000 гг.; г – LST в 1999 и 2000 гг.

Водораздельные типы урочищ 2а, 2б, 2в классифицированы как дренированные поверхности (минимальной влажности), а слабодренированные соответствуют типам 2г и 2д. Минимально дренированные поверхности, как правило,

относятся к пойменным участкам (в данном случае 1б) и к локальным отрицательным формам рельефа (3а, 3б, 3г), хотя в условных обозначениях карты этот признак (степень дренирования) для них не уточняется.



Согласно систематизации условных обозначений (см. рис. 1) склоновые поверхности (2е, 2з, 2и) по степени дренирования занимают положение между слабодренированными на водоразделах и минимально дренированными участками в понижениях рельефа.

На графиках (см. рис. 3) для удобства анализа все значения параметров условно разделены на три группы: максимально дренированные (коричневый контур); слабодренированные (светло-зеленый контур); минимально дренированные (темно-зеленый контур). Коричневый контур на графиках приближенно соответствует значениям параметров NDWI и LST (см. рис. 2), относящихся к участкам минимальной влажности поверхности. Графики на рис. 3а, б характеризуют связь параметров NDWI и LST соответственно в 1999 и 2000 гг., на рис. 3в, г – корреляцию параметров NDWI и LST по результатам съемки в 1999 и 2000 гг. Как видно из графиков, пространственные вариации параметров NDWI и LST в целом достаточно близки к градации урочищ по степени дренирования ландшафтной карты. В то же время, несмотря на общее близкое соответствие распределений NDWI и LST градациям дренирования карты, есть очевидные отличия, которые следует принимать во внимание. Выбор снимков 1999 и 2000 гг. съемки (за десять лет до начала строительства газопровода) основан на том, что за один год без антропогенного воздействия существенных трансформаций ландшафта и, соответственно, изменений влажности поверхности не произойдет. Как показывают полученные результаты, это предположение не всегда соблюдается и примером могут служить урочища 3г. В 1999 г. эти участки по параметрам NDWI и LST могут быть отнесены к

слабодренированным или даже к минимально дренированным поверхностям (см. рис. 3а), что в целом соответствует порядку дифференциации урочищ ландшафтной карты. Однако в 2000 г., судя по значениям обоих параметров, на этих участках (3г) влажность поверхности существенно снизилась, и они практически стали соответствовать группе дренированных поверхностей (см. рис. 3б). Следует учесть, что все остальные типы урочищ практически сохранили свое положение в ряду градаций степени дренирования.

Заметное расхождение распределений NDWI и LST с ландшафтной картой по степени дренирования отмечается для урочищ 2в и 2г. Согласно карте участки урочищ 2в отнесены к дренированным поверхностям, а участки 2г – к слабодренированным (см. условные обозначения рис. 1). В то же время, судя по распределениям параметров NDWI и LST за оба года съемки, участки урочищ 2г устойчиво характеризуются более низкой влажностью поверхности, по сравнению с участками 2в (см. рис. 3). Подобные расхождения могут служить основанием для уточнения соответствия урочищ условиям дренирования поверхности.

Следует отметить достаточно хорошую корреляцию параметров NDWI и LST по годам (см. рис. 3в, г). При исключении из анализа значений, относящихся к участкам аномальных изменений на участках урочищ 3г, для зависимости NDWI(1999 г.)–NDWI(2000 г.) коэффициент корреляции  $R = 0,968$ , а для зависимости LST(1999 г.)–LST(2000 г.)  $R = 0,965$ . Данный факт, с одной стороны, свидетельствует об относительно стабильном состоянии ландшафта, а с другой, о неслучайном характере полученных распределений LST.



К числу важнейших свойств изображений, построенных по параметрам NDWI и LST, следует отнести возможность оценки устойчивых во времени неоднородностей влажности покрова для однотипных урочищ. Другими словами, на основе параметров NDWI и LST может быть дана более детальная пространственная дифференциация влажности покрова на участках, в границах которых по ландшафтной карте обозначены однородные зоны влажности. Подобная детальная информация особенно актуальна при проектировании и строительстве объектов в границах однотипных таксонов, занимающих значительную долю площади. Так, на анализируемом тестовом участке почти половина трассы газопровода проложена в границах урочищ 2и, занимающих 33% площади всего участка (см. рис. 1). На таких протяженных участках по изображениям NDWI и LST более детально могут быть выявлены неоднородности дренирования поверхности (см. рис. 2).

Известно, что при строительстве и эксплуатации объектов в районах распространения мерзлоты к наиболее проблемным участкам относят зоны с резкой сменой ландшафтных характеристик, геокриологических и литологических условий, а также области с контрастной влажностью поверхности, почвы и грунта [13,14]. На трассе газопровода зоны аномально высоких горизонтальных градиентов параметров NDWI и LST отмечены красными контурами (см. рис. 2). В частности, в границах этих контуров на дистанциях 200–300 м вдоль ниток газопровода регистрируются перепады значений LST (4–5 °C), соизмеримые с максимальными перепадами по всему анализируемому району. Соответственно, перепады влажности покрова на этих

участках также будут аномально высокими, что может служить основанием для уточнения их потенциальной опасности при проектировании и строительстве объектов.

### **Заключение**

Результаты исследований на тестовом участке трассы газопровода «Бованенково – Байдарацкая Губа» (полуостров Ямал) показали, что тепловые снимки со спутника Landsat 7 могут быть использованы в качестве дополнительного материала для характеристики и уточнения степени дренирования поверхности тундровых ландшафтов, в том числе при их крупномасштабном картографировании. Впервые показано, что изображения, построенные по параметрам LST (температура поверхности) и NDWI (влажность поверхности) на основе снимков Landsat 7 1999 и 2000 гг. съемки, имеют достаточно высокую повторяемость и хорошее соответствие грациям степени дренирования поверхности согласно ландшафтной карте (масштаб 1:10 000), построенной с использованием снимка со спутника GeoEye-1. Приведенный пример использования изображений по параметрам NDWI и LST для характеристики степени дренирования поверхности представляет собой частный случай картографического моделирования состояния и трансформаций природных ландшафтов криолитозоны на основе многопараметрического анализа данных дистанционного зондирования Земли [6]. В данном случае комплексный анализ двух изображений (NDWI и LST), характеризующих влажность поверхности на основе различных физических принципов, позволяет существенно снизить влияние случайных факторов и, соответственно, повысить достоверность конечного результата.

Несмотря на относительно низкое для крупномасштабного картографирования исходное пространственное разрешение (60 м), после ряда дополнительных преобразований тепловые изображения со спутника Landsat 7 позволяют выявить участки с перепадами температуры (4–5 °С) на дистанциях 200–300 м, что соизмеримо с максимальными перепадами

LST в границах всего района. На трассе газопровода подобные участки с аномально высокими горизонтальными градиентами температуры и, соответственно, влажности поверхности, могут быть отнесены к потенциально-опасным участкам, поскольку характеризуются достаточно резкими изменениями ландшафта.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли», № АААА-А19-119021590079-6).*

### Литература

1. Дубровин В.А., Крицук Л.Н., Ястреба Н.В., Корниенко С.Г. Использование космических снимков при составлении разномасштабных карт геокриологического содержания // Разведка и охрана недр. 2009. № 9. С. 77–84.
2. Корниенко С.Г., Якубсон К.И., Дубровин В.А., Крицук Л.Н., Ястреба Н.В. Аэрокосмический геокриологический мониторинг трассы газопровода «Бованенково – Байдарацкая губа» // Газовая промышленность. 2013. № 7. С. 24–27.
3. Zhao J., Yu L., Xu Y., Ren H., Huang X., Gong P. Exploring the addition of Landsat 8 thermal band in land-cover mapping // International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40, No. 12. P. 4544–4559. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1569281>
4. Крицук Л.Н. Подземные льды Западной Сибири. М.: Научный Мир, 2010. 350 с.
5. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
6. Корниенко С.Г. Выявление изменений влажности тундрового почвенно-растительного покрова по данным мультиспектральной космической съемки (на примере территории строительства завода по сжижению природного газа на полуострове Ямал) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 5. С. 110–119. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-110-119>
7. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // Remote Sensing of Environment. 1979. Vol. 8, No. 2. P. 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
8. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27, No. 14. P. 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
9. Gao B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. Vol. 58, No 3. P. 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

10. *Van de Griend A.A., Owe M.* On the relationship between thermal emissivity and the normalized different vegetation index for natural surfaces // *International Journal of Remote Sensing*. 1993. Vol. 14, No. 6. P. 1119–1131. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>

11. *Weng Q., Lu D., Schubring J.* Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 89, No. 4. P. 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

12. Изображения Земли из космоса: примеры применения: Научно-популярное издание. М.: ООО Инженерно-Технологический Центр «СКАНЭКС», 2005. 100 с.

13. *Пендин В.В., Ганова С.Д.* Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. М.: ОАО «ПНИИИС», 2009. 236 с.

14. *Коробова Т.А.* Картографо-математический анализ неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геоэкологических условий западного Ямала // *Криосфера Земли*. 2012. Т. XVI, № 3. С. 87–93.



## Using thermal images from the Landsat 7 satellite for mapping tundra landscapes: the case of the Bovanenkovo – Baydaratskaya Bay gas pipeline section

**S.G. Kornienko**

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow  
E-mail: [spaceakm2@ogri.ru](mailto:spaceakm2@ogri.ru)

**Abstract.** The article considers the possibility of using thermal images from Landsat 7 satellites to characterize and clarify the degree of surface drainage when mapping tundra landscapes by the case of the test section of the Bovanenkovo – Baydaratskaya Bay gas pipeline (the Yamal Peninsula). The images constructed using the LST (surface temperature) and NDWI (surface moisture) parameters based on the 1999 and 2000 survey data from the Landsat 7 satellite have a fairly high repeatability and good correspondence with the gradations of the degree of surface drainage according to the landscape map (scale 1:10 000), built using an image from the GeoEye-1 satellite. After a number of transformations, thermal images from the Landsat 7 satellite with a spatial resolution of 60 m can be used as an additional material for characterizing and clarifying the degree of drainage of the surface of tundra landscapes, including for large-scale thematic mapping.

**Keywords:** landscape map, degree of surface drainage, Landsat, temperature, humidity, tundra landscape.

**Citation:** Kornienko S.G. Using thermal images from the Landsat 7 satellite for mapping tundra landscapes: the case of the Bovanenkovo – Baydaratskaya Bay gas pipeline section // Actual Problems of Oil and Gas. 2020. Iss. 3(30). P. 51–63. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art6> (In Russ.).

### References

1. Dubrovin V.A., Kritsuk L.N., Yastreba N.V., Kornienko S.G. The use of cosmic images in compiling different-scaled maps of geocryological content // Razvedka i Okhrana Nedr. 2009. No. 9. P.77–84. (In Russ.).
2. Kornienko S.G., Yakubson K.I., Dubrovin V.A., Kritsuk L.N., Yastreba N.V. Aerospace geocryological monitoring of the Bovanenkovo – Baydaratskaya Bay gas pipeline route // Gazovaya Promyshlennost. 2013. No. 7. P. 24–27. (In Russ.).
3. Zhao J., Yu L., Xu Y., Ren H., Huang X., Gong P. Exploring the addition of Landsat 8 thermal band in land-cover mapping // International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40, No 12. P. 4544–4559. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1569281>
4. Kritsuk L.N. Underground ice of Western Siberia. Moscow: Nauka, 2010. 350 p. (In Russ.).
5. Permafrost and oil and gas development / Ed. by E.S. Mel'nikov and S.E. Grechishchev. Moscow: GEOS, 2002. 402 p. (In Russ.).
6. Kornienko S.G. Water content variations in the tundra land cover: evidence from multispectral satellite imagery (a case study of a liquefied natural gas plant construction site, Yamal Peninsula) // Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2018. Vol. 15, No. 5. P. 110–119. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-110-119> (In Russ.).

7. *Tucker C.J.* Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote Sensing of Environment*. 1979. Vol. 8, No. 2. P. 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
8. *Xu H.* Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27, No. 14. P. 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
9. *Gao B.* NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // *Remote Sensing of Environment*. 1996. Vol. 58, No. 3. P. 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
10. *Van de Griend A.A., Owe M.* On the relationship between thermal emissivity and the normalized different vegetation index for natural surfaces // *International Journal of Remote Sensing*. 1993. Vol. 14, No. 6. P. 1119–1131. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>
11. *Weng Q., Lu D., Schubring J.* Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 89, No. 4. P. 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
12. *Images of the Earth from space: application examples: Popular science edition.* Moscow: ScanEx Engineering and Technology Center LLC, 2005. 100 p. (In Russ.).
13. *Pendin V.V., Ganova S.D.* Geocological monitoring of the territories where gas transportation facilities are located in the permafrost zone. Moscow: PNIIS OJSC, 2009. 236 p. (In Russ.).
14. *Korobova T.A.* Cartographic-mathematical analysis of heterogeneity of landscape morphological structure and permafrost conditions of Western Yamal // *Kriosfera Zemli*. 2012. Vol. XVI, No. 3. P. 87–93. (In Russ.).