

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫХ СТРУКТУР В ЧАРСКОЙ КОТЛОВИНЕ¹**

*Е.Г. Панченко**, *Ю.В. Станиловская**

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
(Москва)

Разработана и опробована методика дистанционного исследования полигонально-жильных структур на основе данных космической съемки в рамках морфометрического анализа, спектрального анализа и типизации ландшафтных условий полигонально-жильных структур. Впервые используется количественная оценка спектрально-морфометрических характеристик полигональных объектов в связи с их структурными характеристиками и ландшафтным положением, имеющая значительный потенциал для дальнейшего развития и интеграции с геоботаническими, инженерно-геокриологическими и статистическими методами. Параметризация морфологии полигонально-жильных структур основывалась на вычислении базовых характеристик полигонов как геометрических фигур, а также конвенциональных параметров, используемых при морфологическом анализе полигонов как форм криогенного рельефа. Для анализа закономерностей формирования и динамического состояния полигональных структур в разных ландшафтных условиях произведено сопоставление выборок значений морфологических параметров по ключевым участкам, расположенным в таежной зоне Чарской котловины со сплошным распространением мерзлоты. Для четырех ключевых участков было определено 12 морфометрических параметров, для каждого из них также были вычислены базовые статистические показатели (минимальное, максимальное и среднее значения, стандартное отклонение). Показано, что с помощью спектрально-морфометрического анализа можно количественно оценивать разнообразие полигонально-жильных структур. В дальнейшем данный подход может быть усовершенствован за счет ландшафтной интерпретации выявленных количественных особенностей.

Ключевые слова: *полигонально-жильные структуры, дистанционное зондирование криолитозоны, мерзлотные ландшафты, морфометрический анализ, пространственный анализ, Чарская котловина.*

¹Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 14-05-31510.

Контактное лицо: Панченко Евгений Геннадьевич, *адрес:* 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, строение 2; *e-mail:* geougee@gmail.com

Для цитирования: Панченко Е.Г., Станиловская Ю.В. Спектральный и морфометрический анализ полигонально-жильных структур в Чарской котловине // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 3. С. 185–194. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.185

Цель данной работы – сформировать методику количественного анализа полигонально-жильных структур (ПЖС) на основе их спектральных и морфометрических характеристик с учетом качественной типизации ландшафтных условий.

Разновидностью ПЖС в криолитозоне являются характерные для полярных регионов повторно-жильные льды (ПЖЛ), которые изучаются с 1915 года. Актуальность их исследования обусловлена выявлением отклика ПЖЛ на изменение климата и промышленным освоением криолитозоны. ПЖЛ хорошо изучены в России и за рубежом, однако исследования на основе их спектральных и морфометрических

характеристик пока не получили широкого распространения [1, 2]. Настоящее исследование направлено на расширение возможностей изучения ПЖС на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Район исследования – Чарская котловина, расположенная на севере Читинской области (рис. 1), характеризуется широким распространением ПЖС, а также их значительным ландшафтным и геокриологическим разнообразием [3, 4]. При многократном повторении морозобойного процесса образуются ПЖС, к числу которых относятся различные категории грунтовых жил, ПЖЛ и возникающие при их оттаивании псевдоморфозы [5]. Многие из них

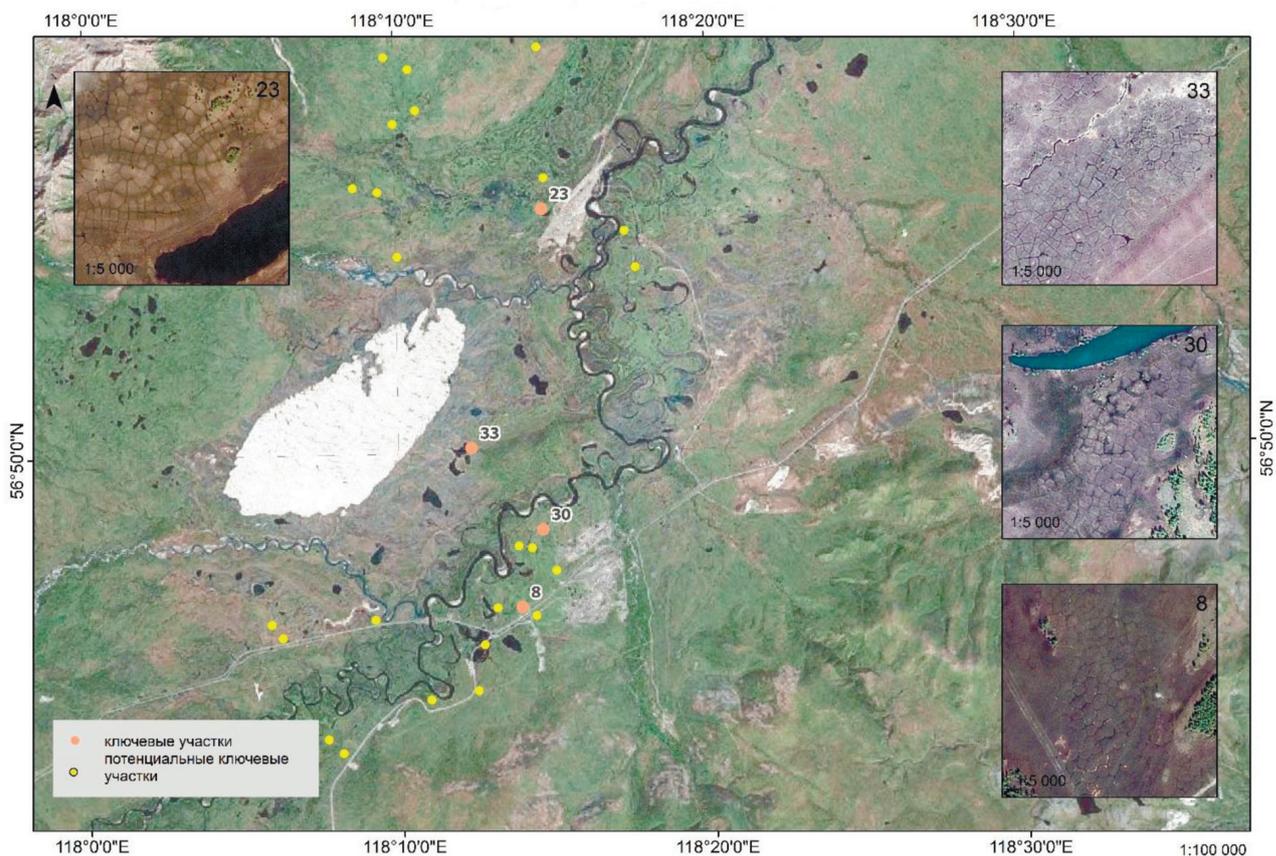


Рис. 1. Территория исследования полигонально-жильных структур и расположение ключевых участков в Чарской котловине

труднодоступны для наземного обследования в силу низкой проходимости большей части территории котловины, поэтому разработка методики дистанционного анализа ПЖС – актуальное и перспективное направление.

Материалы и методы. Для достижения цели исследования проводили сбор данных ДЗЗ (преимущественно из открытых источников) и их предварительную обработку. Далее на основании визуальной инспекции космических снимков выделяли участки распространения ПЖС на территории Чарской котловины (см. рис. 1). Обнаруженные ПЖС типизировали по приуроченности к определенным ландшафтным условиям с помощью сопоставления их пространственного расположения и ландшафтной схемы территории. Для количественного анализа ПЖС использовали следующие спектральные и морфометрические параметры: топографический индекс влажности, индекс шероховатости, нормализованный относительный вегетационный индекс (значения на июль и сентябрь), округлость, соотношение сторон, коэффициент формы, размер полигона. Указанные параметры извлекали для отобранных ключевых контуров ПЖС. По каждому количественному параметру формировали гистограммы распределения значений в пределах контура. Полученные количественные характеристики подвергали анализу на предмет возможности применения для инженерно-геокриологической оценки ПЖС, а также оценки их динамического состояния.

При изучении ПЖС Чарской котловины (Северное Забайкалье) использовали следующие материалы ДЗЗ:

1. Многоспектральные космические снимки Landsat 7 (30 м, 11 июля и 9 сентября 2000 года). Июль – месяц наиболее интенсивного вегетационного периода, что важно для определения спектральных параметров территории, связанных с растительностью. Сентябрь – месяц максимального протаивания многолетнемерзлых пород, что важно для оценки инженерно-геокриологических условий территории. Помимо

этого, использование пары разновременных снимков за один год дает дополнительную информацию при анализе различных спектральных характеристик территории.

2. Цифровая модель рельефа (ЦМР) ASTER GDEM v.2 (1 угл. с). Перед анализом ЦМР подвергали предварительной обработке с целью повышения геоморфологической достоверности [6]: удалению артефактов (террас и западин) и прожигу гидрографической сети 1 [7]. Таким образом, далее в анализе применяли ЦМР с повышенной относительной точностью. Значения абсолютных высот в данном случае не соответствуют реальным, поэтому далее в работе использовали только относительные характеристики высот.

3. Банк высокодетальных многоспектральных космоснимков Google Earth. На основе дешифрирования данных снимков выделяли контуры ПЖС. Отбор участков и оконтуривание ПЖС основывали на следующих формальных критериях: не содержат техногенных объектов; структура и текстура полигонального рисунка гомогенна; располагаются во внутренней части ландшафтного массива – как можно дальше от его маргинальных зон и, соответственно, от воздействия термодинамических процессов соседних ландшафтных типов. На основе обозначенных критериев по результатам дешифрирования было отобрано 24 векторных контура для последующего анализа.

4. Многоспектральный космический снимок IKONOS (0,8 м, 23 июня 2010 года). На основе космических многозональных снимков сверхвысокого разрешения осуществляли оцифровку ПЖС в пределах ключевых участков. Предварительную обработку снимков – атмосферную коррекцию (фильтрацию атмосферного шума) изображений методом темных участков [8] – производили в специализированном программном пакете PANCROMA. Оцифровку осуществляли вручную в среде ArcGIS при чередовании комбинаций каналов снимка, поскольку на отдельных участках ПЖС находятся на различных стадиях развития,

что обуславливает отличия в распределении влажности между центрами полигонов и межполигональными понижениями. Соответственно, чередование комбинаций каналов, в каждой из которых присутствует инфракрасный канал, улучшает полноценность покрытия оцифрованной территории с развитием полигональных образований. Наиболее продуктивными комбинациями каналов оказались: 4-3-2, 4-3-1, 1-4-1. Для более точного отображения ПЖС производили балансировку гистограммы.

Непосредственное выделение полигонов выполняли в несколько стадий. Сначала на стыках межполигональных решеток проставляли точки. Затем эти точки соединяли полилиниями. Далее полилинии конвертировали в полигональный слой, а сами линии разбивали проставленными изначально точками. Таким образом в итоге получены полигональный слой и слой полилиний, где каждая линия соответствует одному уникальному ребру полигональной решетки.

Типизацию ландшафтной приуроченности контуров ПЖС проводили на основе данных полевых обследований территории [9] и дешифрирования космоснимков. Выделены следующие типы ландшафтов: озерно-аллювиальные равнины (участки 12, 21, 24); флювиогляциальные и моренные поверхности – озерные котловины (участки 3–6), ложбины стока (участки 2, 8–10), субгоризонтальные поверхности (участки 1, 7); подгорные шлейфы (участок 23); долины крупных рек – старично-мандровые комплексы (участки 13–16, 19, 20, 22); долины малых рек (участки 11, 17, 18).

Открытые данные ДЗЗ позволяют получать различные спектральные и морфометрические параметры для количественной оценки территории. Эти параметры могут быть как первичными деривативами, так и вторичными – индексами [10]. Набор количественных параметров оценки территории напрямую зависит от доступности данных, их спектрального, временного и пространственного разрешения. Так, для данной территории нам не удалось извлечь па-

раметры, которые могли бы быть использованы для дешифрирования и анализа скрытых (погребенных) ПЖС. Параметры для количественной оценки видимых ПЖС представлены в *табл. 1*. По каждому из них было сформировано растровое изображение на территорию исследования.

Параметризация морфологии ПЖС основывалась на вычислении базовых характеристик полигонов как геометрических фигур, а также конвенциональных параметров, используемых при морфологическом анализе полигонов как форм криогенного рельефа [1, 2]. Для анализа закономерностей формирования и динамического состояния ПЖС в разных ландшафтных условиях сопоставляли выборки значений морфологических параметров по ключевым участкам: составляли диаграммы рассеяния для отобранных пар параметров; для отобранных ключевых участков анализировали статистические значения по сходным параметрам с целью выявления отличий в их средних значениях и дисперсии.

Перед извлечением значений спектральных и морфометрических параметров каждое растровое изображение было нормализовано относительно шкалы 0-1 по линейной функции. Для каждого из векторных контуров ПЖС далее извлекали значения по каждому из количественных параметров.

Результаты и обсуждение. Для большинства участков распределение значений топографического индекса влажности (TWI) характеризуется двумя максимумами (*рис. 2*, см. с. 190). Судя по всему, один частотный максимум соответствует центральным частям полигонов, а второй – межполигональным понижениям. Данное предположение при его дальнейшей проверке может быть использовано для дистанционной оценки соотношения площадей полигонов и межполигональных понижений, оценки гидроморфности ПЖС, а также для оценки потенциального содержания льда в жилах. Также стоит отметить различия в виде гистограмм для ПЖС в зависимости от их ландшафтного положения.

Таблица 1

**НАБОР СПЕКТРАЛЬНЫХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ПОЛИГОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМОСЪЕМКИ**

Параметр	Значение	Источник данных	Формула
Топографический индекс влажности (TWI)	Определяет топографически обусловленное распределение влажностных потоков	ASTER GDEM	$\ln(A / \operatorname{tg}(\beta))$, где A – удельная водосборная площадь, β – угол наклона земной поверхности
Индекс шероховатости (Melton ruggedness number)	Индекс, соотносящийся с накоплением влажностных потоков	ASTER GDEM	$(Z_{\max} - Z_{\min}) / \sqrt{S}$, где Z_{\max} , Z_{\min} – максимальная, минимальная высота и площадь полигональной структуры
Нормализованный относительный индекс растительности (NDVI), сентябрь и июль	Простой показатель количества фотосинтетически активной биомассы	Landsat 7	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$, где NIR, RED – отражение в ближней инфракрасной и красной областях спектра
Размер полигона, м	Диаметр окружности, эквивалентной по площади выделенному полигону	IKONOS	$\sqrt{4S/\pi}$, где S – площадь полигональной структуры
Коэффициент формы (или формфактор)	Конструктивная характеристика, определяющая геометрическую форму и габаритные размеры	IKONOS	$4\pi S / L^2$, где S , L – площадь и периметр полигональной структуры
Округлость	Степень округлости выделенного полигона	IKONOS	$4S / (\pi D_{\max}^2)$, где S , D_{\max} – площадь и максимальный диаметр полигональной структуры
Соотношение сторон	Эксцентриситет (отношение высоты к ширине) полигона	IKONOS	D_{\max} / D_{\min} , где D_{\max} , D_{\min} – максимальный и минимальный диаметр полигонов

Параметр шероховатости напрямую связан с микрорельефом ПЖС и его неоднородностью, т. е. с размерами полигональной сетки и самих полигонов. Наличие в распределении двух максимумов, судя по всему, можно интерпретировать как наличие сети трещин разного порядка (рис. 3, см. с. 190). Таким образом, распределение частот значений дан-

ного параметра при дальнейшей проверке может быть использовано для дистанционного определения размерности элементов ПЖС, а также выявления наличия трещин генерации разного порядка. Также стоит отметить различия в виде гистограмм для полигональных структур в зависимости от их ландшафтного положения.

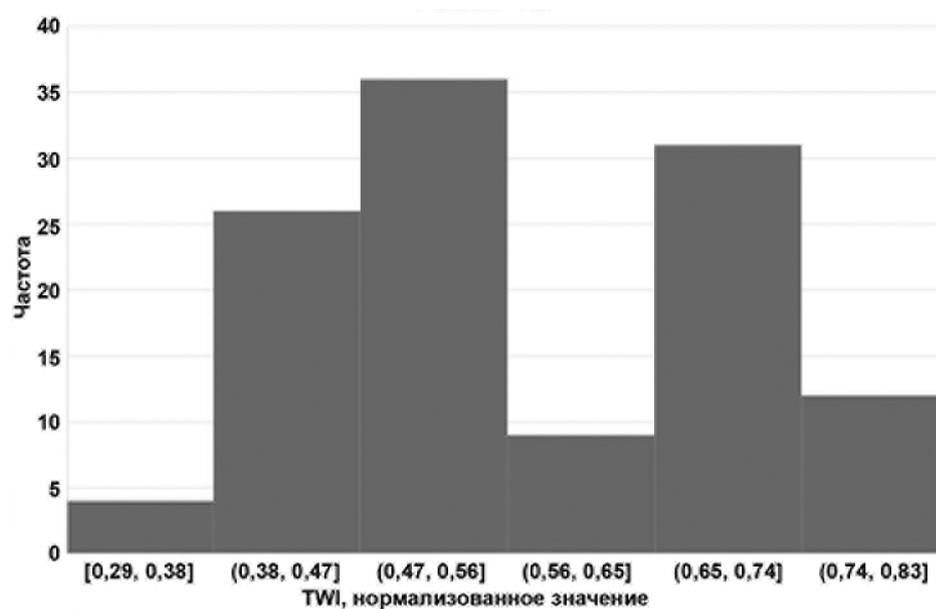


Рис. 2. Гистограмма распределения значений топографического индекса влажности (TWI) для субгоризонтальной поверхности (участок 1)

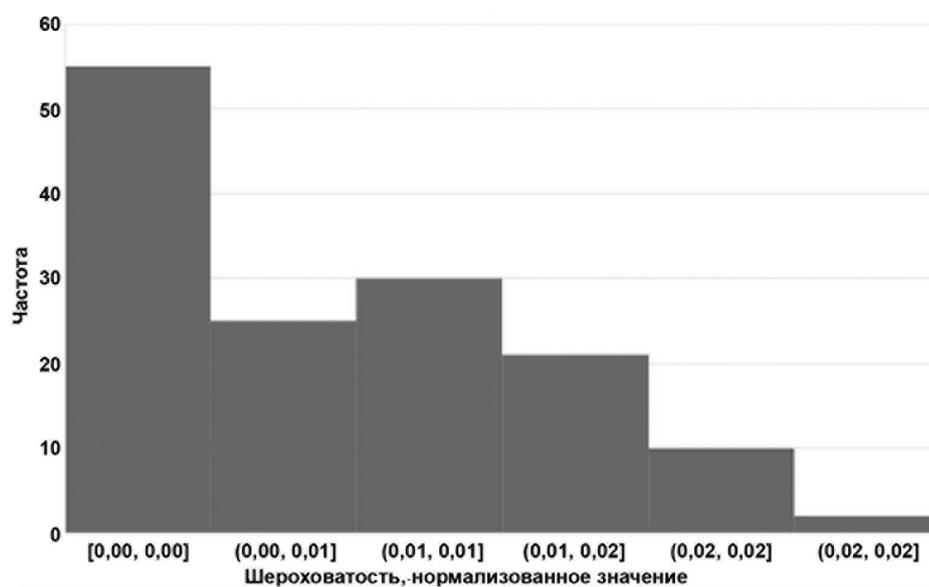


Рис. 3. Гистограмма распределения значений индекса шероховатости для озерной котловины (участок 6)

Нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) отображает количество активной фитомассы и может быть косвенно использован для дистанционной характеристики ПЖС совместно с полевыми данными геоботанических наблюдений. Наличие на гистограмме двух частотных максимумов (рис. 4) говорит о доминировании на участке 4 двух различных типов растительных покровов, которые, судя по всему, соответствуют полигонам и межполигональным понижениям. Также стоит отметить различия в виде гистограмм для полигональных структур в зависимости от их ландшафтного положения. Сопоставление разновременных частотных распределений значений NDVI в совокупности с анализом результатов геоботанического обследования может способствовать созданию нового метода дистанционного изучения ПЖС.

Важно отметить, что отдельным направлением для развития данного исследования является непосредственно статистический анализ характера распределений – выявление принад-

лежности его к нормальному, логнормальному или же пуассоновскому типу, а также эмпирическая проверка на основании дальнейших полевых работ.

Морфометрический анализ дал следующие результаты. На всех участках выявляется устойчивая отрицательная зависимость между соотношением сторон и округлостью полигонов. На участках ПЖС флювиогляциальных и моренных поверхностей отмечается снижение значений соотношения сторон (эксцентриситета) при увеличении размера полигонов. На участках ПЖС в пределах подгорных шлейфов соотношение сторон практически не меняется в зависимости от размеров полигонов. Также на этих участках округлость полигонов практически не меняется при увеличении их размеров. На ПЖС в пределах подгорных шлейфов коэффициент формы постоянный вне зависимости от размеров полигонов, в то время как на других участках отмечается рост значений коэффициента при увеличении размеров полигонов. Для участков в пределах ложбин стока характе-

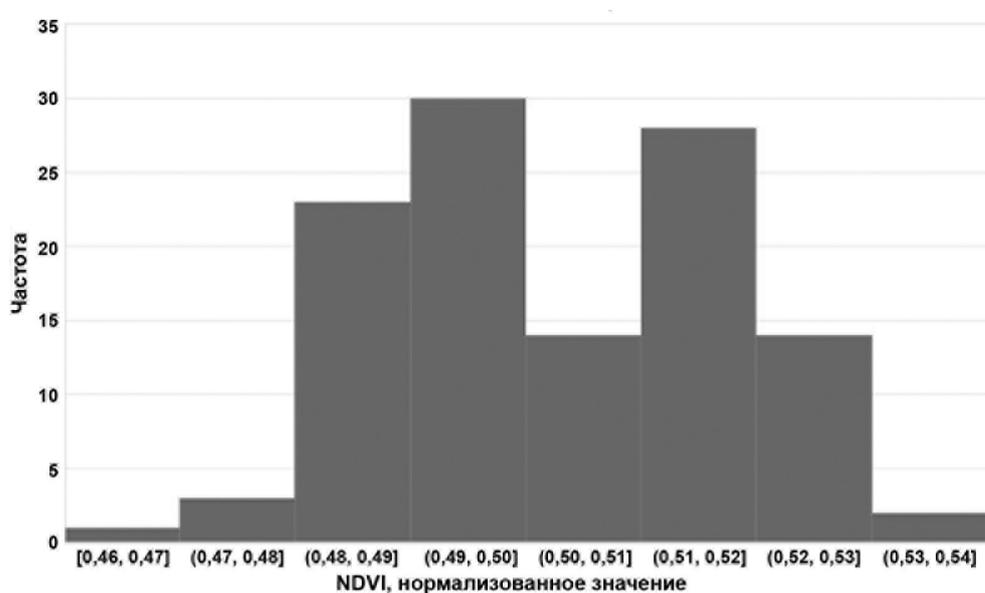


Рис. 4. Гистограмма распределения значений нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) за сентябрь 2000 года для озерной котловины (участок 4)

рен заметный рост округлости полигонов при увеличении их размеров. Для ПЖС в пределах других ландшафтных типов выявленные закономерности требуют дальнейшего уточнения.

Существующие экспериментальные методики оцифровки и параметризации криогенных полигональных структур на основе данных ДЗЗ требуют дальнейшей проработки. Исследования по этой теме либо проведены в гомогенных ландшафтных условиях [2], либо фокусируются на межпланетарном сравнении полигональных образований [1]. Одной из задач нашего исследования являлось изучение закономерностей формирования земных полигонов в пределах различных таежных ландшафтных выделов одного региона (Чарской котловины), поэтому некоторые алгоритмы оцифровки полигональной сети, успешно опробованные в указанных выше исследованиях, не могут быть эквивалентно применены в нашей работе. В частности, это относится к оконтуриванию полигональной сетки посредством полигонов Вороного [2]: данный алгоритм успешно используется в однородных тундровых ландшафтных условиях и при незначительном растительном покрове.

Стоит также отметить, что в указанных выше работах в совокупности с данными ДЗЗ применяются данные наземных наблюдений. Цель, задачи и региональный масштаб настоящего исследования, а также его инженерно-геокриологический фокус требуют разработки более продвинутой методики оцифровки ПЖС на основе данных ДЗЗ с минимизацией необходимости дополнения ее данными наземных полевых наблюдений. Во-первых, основным ограничением здесь является параметризация ширины межполигональных понижений. Этот параметр – один из ключевых с точки зрения инженерной геокриологии. Однако значения ширины в условиях ручной оцифровки и визуальной экспертной инспекции снимка снимаются неэффективно, особенно при значительных площадях картирования и неоднородных ландшафтных условиях. Следовательно, разрабатываемая методика должна включать алгоритм автоматического и полуавтоматического дешифрирования линейных и полигональных

структур на основе космических снимков. Это – важнейшая задача следующего этапа реализации данного исследования.

Во-вторых, одним из наиболее значимых параметров пространственного распределения объектов (в данном случае – полигонов) является R-статистика (метод ближайшего соседа), отображающая степень, до которой распределение измеряемого точечного наблюдения отстоит от случайного. В данном случае вопрос, который предстоит выяснить на следующем этапе реализации исследования, – что именно использовать в качестве точечного наблюдения: центры полигонов или точки схождения межполигональных клиньев? Скорее всего, оба подхода измерения R-статистики могут быть полезны, и их выбор зависит от конкретных исследовательских целей.

В-третьих, важным вопросом является оценка динамики ПЖС. Необходимо знать, находятся они в активной, стабильной или же деградирующей фазе своего существования. К сожалению, применение дешифрирования разновременных снимков в данном случае не применимо, поскольку для анализа структуры ПЖС требуются снимки сверхвысокого разрешения, которые недоступны или не существуют для предыдущих десятилетий. Следовательно, нужно искать иной способ анализа динамического состояния ПЖС. Возможным выходом является анализ распределения влажности между полигонами и межполигональной сеткой. В частности, имеет смысл проанализировать распределение значений влажности поверхности, растительных индексов и спектральных сигнатур между разными формами нанорельефа полигональных образований.

Результатом следующего этапа реализации исследования будет являться составление эффективного алгоритма дешифрирования и параметризации полигональных образований, предоставляющего исчерпывающие морфометрические данные, необходимые для инженерно-геокриологической оценки территории развития полигонов. Данный алгоритм, с одной стороны, будет включать морфологический анализ, опробованный и представленный

в данной статье, с другой стороны – будет дополнен и расширен за счет методологической проработки обозначенных выше ограничений.

Заключение. Данное количественное обследование ПЖС на основании распределения частот значений спектральных и морфометрических характеристик отличается новизной. Приведен первичный анализ гистограмм распределения частот значений для следующих параметров: топографический индекс влажности, индекс шероховатости, нормализованный относительный индекс растительности

на июль и сентябрь. Предположения относительно интерпретации гистограмм частоты значений являются первичными и требуют дальнейшего развития методологии количественного анализа ПЖС на основе продолжения как дистанционных, так и наземных исследований.

Разработанная методика, верифицированная в полевых условиях, может быть применима для качественной и количественной оценки термокарстовой опасности по ПЖС для линейных объектов.

Список литературы

1. Yoshikawa K. Origin of the Polygons and the Thickness of Vastitas Borealis Formation in Western Utopia Planitia on Mars // *Geophys. Res. Lett.* 2003. Vol. 30, № 12. P. 5–1.
2. Ulrich M., Grosse G., Strauss J., Schirrmeyer L. Quantifying Wedge-Ice Volumes in Yedoma and Thermokarst Basin Deposits // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2014. Vol. 25, iss. 3. P. 151–161.
3. Лопатин Д.В. О некоторых особенностях развития полигональных форм рельефа в Чарской котловине // *Геокриологические условия Забайкалья и Прибайкалья*. М., 1967. С. 205–212.
4. Некрасов И.А., Голованова Г.В. Особенности распространения многолетнемерзлых пород в окрестностях Верхне-Чарского термального источника // *Геокриологические условия Забайкальского Севера*. М., 1966. С. 172–180.
5. Романовский Н.Н. Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск, 1977. 216 с.
6. Hengl T., Gruber S., Shrestha D.P. Reduction of Errors in Digital Terrain Parameters Used in Soil-Landscape Modelling // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2004. Vol. 5, iss. 2. P. 97–112.
7. Reuter H.I., Hengl T., Gessler P., Soille P. Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis // *Developments in Soil Science*. 2009. Vol. 33. P. 87–120.
8. Lu D., Moran E., Li G., Hetrick S. Remote Sensing Image Classification // *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms and Applications* / Ed. by Q. Weng. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011. 610 p.
9. Сергеев Д.О., Станиловская Ю.В., Перльштейн Г.З., Романовский В.Е., Безделова А.П., Александрина Д.М., Болотюк М.М., Хименков А.Н., Капралова В.Н., Мотенко Р.Г., Малеева А.Н. Фоновый геокриологический мониторинг в Северном Забайкалье // *Криосфера Земли*. 2016. Т. XX, № 3. С. 24–32.
10. Florinsky I.V. Combined Analysis of Digital Terrain Models and Remotely Sensed Data in Landscape Investigations // *Prog. Phys. Geogr.* 1998. Vol. 22, iss. 1. P. 33–60.

References

1. Yoshikawa K. Origin of the Polygons and the Thickness of Vastitas Borealis Formation in Western Utopia Planitia on Mars. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, vol. 30, no. 12, pp. 5–1.
2. Ulrich M., Grosse G., Strauss J., Schirrmeyer L. Quantifying Wedge-Ice Volumes in Yedoma and Thermokarst Basin Deposits. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2014, vol. 25, iss. 3, pp. 151–161.
3. Lopatin D.V. O nekotorykh osobennostyakh razvitiya poligonal'nykh form rel'efa v Charskoy kotlovine [On Some Features of Development of Polygonal Relief Forms in the Chara Basin]. *Geokriologicheskie usloviya Zabaykal'ya i Pribaykal'ya* [Geocryological Conditions of Transbaikalia and the Baikal Region]. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 205–212. (In Russ.)
4. Nekrasov I.A., Golovanova G.V. Osobennosti rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh porod v okrestnostyakh Verkhne-Charskogo termal'nogo istochnika [Features of the Permafrost Distribution in the Environs of the Verkhne-Chara Thermal Spring]. *Geokriologicheskie usloviya Zabaykal'skogo Severa* [Geocryological Conditions of the Trans-Baikal North]. Moscow, Nauka Publ., 1966, pp. 172–180. (In Russ.)

5. Romanovskiy N.N. *Formirovanie poligonal'no-zhil'nykh struktur* [Formation of Polygonal Wedge Structures]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 216 p. (In Russ.)
6. Hengl T., Gruber S., Shrestha D.P. Reduction of Errors in Digital Terrain Parameters Used in Soil-Landscape Modelling. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 2004, vol. 5, iss. 2, pp. 97–112.
7. Reuter H.I., Hengl T., Gessler P., Soille P. Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis. *Developments in Soil Science*, 2009, vol. 33, pp. 87–120.
8. Lu D., Moran E., Li G., Hetrick S. Remote Sensing Image Classification. *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms and Applications*. Ed. by Q. Weng. Boca Raton, USA, CRC Press, 2011. 610 p.
9. Sergeev D.O., Stanilovskaya Yu.V., Perl'shteyn G.Z., Romanovskiy V.E., Bezdelova A.P., Aleksyutina D.M., Bolotyuk M.M., Khimenkov A.N., Kapralova V.N., Motenko R.G., Maleeva A.N. Fonovyy geokriologicheskii monitoring v Severnom Zabaykal'e [Background Geocryological Monitoring in Northern Transbaikalia Region]. *Kriosfera Zemli* [Earth Cryosphere], 2016, vol. XX, no. 3, pp. 24–32.
10. Florinsky I.V. Combined Analysis of Digital Terrain Models and Remotely Sensed Data in Landscape Investigations. *Prog. Phys. Geogr.*, 1998, vol. 22, iss. 1, pp. 33–60.

DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.185

*Evgeniy G. Panchenko**, *Yuliya V. Stanilovskaya**

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience of the Russian Academy of Sciences
(Moscow, Russian Federation)

SPECTRAL AND MORPHOMETRIC ANALYSIS OF POLYGONAL WEDGE STRUCTURES IN THE CHARA BASIN

The paper presents a technique for remote sensing of polygonal wedge structures based on space survey data within the framework of morphometric analysis, spectral analysis and typification of landscape conditions of polygonal wedge structures. For the first time, we use the quantitative estimation of spectral-morphometric characteristics of polygonal objects relative to their structural features and landscape position. This factor has a significant potential for further development and integration with geobotanical, engineering-geocryological and statistical methods. Parametrization of morphology of polygonal wedge structures is based on the calculation of principal characteristics of polygons as geometric figures, as well as conventional parameters used in the morphological analysis of polygons as forms of cryogenic relief. We compare value samples of morphological parameters by index plots in the taiga zone of the Chara basin with continuous permafrost to analyze the patterns of formation and dynamic state of polygonal structures in different landscape conditions. The authors determine 12 morphometric parameters for four index plots and calculate basic statistical values for each of them (minimum, maximum and mean values, standard deviation). Spectral and morphometric analysis allows us to quantify the diversity of polygonal wedge structures. In the future, this approach can be improved due to the landscape interpretation of the revealed quantitative features.

Keywords: *polygonal wedge structure, remote sensing of cryolithozone, cryogenic landscape, morphometric analysis, spatial analysis, Chara basin.*

Поступила 25.04.2017
Received on April 25, 2017

Corresponding author: Evgeniy Panchenko, *address:* Ulanskiy per., 13, stroenie 2, Moscow, 101000, Russian Federation; *e-mail:* geougee@gmail.com

For citation: Panchenko E.G., Stanilovskaya Yu.V. Spectral and Morphometric Analysis of Polygonal Wedge Structures in the Chara Basin. *Arctic Environmental Research*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 184–194. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.185