ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ, 2021, № 1, с. 88–96

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 554.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ АЭРО- И КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМОК НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МОНИТОРИНГУ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ)

© 2021 г. Т. В. Орлов[1,*], А. В. Зверев[1], В. В. Бондарь[1]

[1] *Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия*

**E-mail: tim.orlov@gmail.com*

Поступила в редакцию 06.11.2020 г.
После доработки 18.11.2020 г.
Принята к публикации 18.11.2020 г.

Для эффективного мониторинга опасных геологических процессов на территориях линейных сооружений наиболее распространенным методом наблюдения и анализа является использование данных дистанционного зондирования Земли. Широко применяются космическая и аэрофотосъемки для контроля опасных процессов, развивающихся во всех природных условиях территорий. Сравнительная оценка возможностей выявления экзогенных геологических процессов с помощью аэро- и космической съемок разного разрешения – ключевой этап при анализе качества и полноты информации на снимках. Оценка информации, в первую очередь, включает в себя проведение прямого сравнения параметров, таких как количество очагов, длина и площадь выявленных экзогенных геологических процессов (ЭГП), затем проводится сравнение долей ЭГП по количеству проявлений и линейным размерам. Сравнительный анализ изображений на выбранных репрезентативных участках, на которых отмечено наибольшее количество и разнообразие процессов, таких как подтопление–обводнение, подтопление–подпор, термоэрозия, эрозия, термокарст, зоны развития бугристых торфяников, показал существенные различия в полноте интерпретации информации. Дешифрирование космических снимков позволяет выделить до 85% проявлений ЭГП и практически в полном объеме выделяются условия их развития. При дешифрировании аэрофотоснимков наиболее точно определяются параметры длины и площади, выявляется гораздо больше очагов проявления опасных процессов, чем при дешифрировании космических снимков. Наиболее целесообразный способ мониторинга линейных сооружений – использование сочетания космических снимков и аэрофотосъемки разного разрешения.

Ключевые слова: *космическая съемка*, *аэрофотосъемка*, *дешифрирование*, *мониторинг*

DOI: 10.31857/S0869780921010082

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время линейные сооружения (железные и автомобильные дороги, нефте- и газопроводы) создаются и эксплуатируются во всех природных условиях территорий. Различные экзогенные геологические процессы (ЭГП) угрожают штатному функционированию линейных сооружений. Использование данных дистанционного зондирования Земли позволяет существенно снизить затраты при ведении мониторинга процессов из-за большой протяженности линейных сооружений.

Космическая и аэрофотосъемка активно используются при изучении и контроле экзогенных процессов: широко применяется при анализе карстовых процессов [1], где определяется плотность распространения суффозионно-карстовых воронок покрытого карста; для эрозионных процессов оценивается их рост [11] и вероятность развития [19]. В криолитозоне также есть примеры широкого использования: например, для полигонально-жильных льдов картируется их рисунок [18, 23] и оценивается влияние их деградации на гидрологию тундры [16], изучается береговая термоэрозия [20]. Для термокарстовых процессов определяется влияние сезонного протаивания на бассейны спущенных термокарстовых озер [22], динамика озер [17], ведется их мониторинг [10, 15], оценивается спуск озер [21]. Ведется выделение комплексных структур [14], дешифрирование процессов [13], оцениваются их сложные параметры [2].

Таблица 1. Краткий обзор современных продуктов, пригодных для выявления развития ЭГП в полосе отвода трассы трубопровода

Тип	Название	Разрешение	Возможная периодичность для линейных сооружений*	Оценочная стоимость однократной новой съемки, для линейного сооружения протяженностью 100 км
Космическая съемка	Продукты компании Digital Globe (QuickBird, Ge Eye, WorldView 2), Airbus (Pleidas)	0.5–0.6 м/пикс панхроматический канал, 2 м/пикс мультиспектральный	2–4 раза в год	400000
	Продукты компании Digital Globe (WorldView 3,4)	0.3 м/пикс панхроматический канал, 2 м/пикс мультиспектральный		480000
Аэрофотосъемка	Аэрофотосъемка в комбинации с лазерным сканированием	до 0.05 м/пикс высокодетальная ЦМР	1 раз в 2 месяца	1000000**
	Аэрофотосъемка с БПЛА			

*Периодичность оценена на основе реального опыта работ.

**Указана оценочная стоимость, реальную стоимость оценить невозможно, так как она напрямую зависит от протяженности всей трассы трубопровода, расстояния от аэропортов вылета, наличия инфраструктуры и др.

Основным методом интерпретации информации дистанционного мониторинга для целей выявления ЭГП остается экспертное дешифрирование. Полуавтоматизированные методы пока не получили широкого применения.

Работы, связанные с применением дистанционных данных при проектировании и строительстве линейных сооружений, не так многочисленны, однако, эти данные используются для дешифрирования линейных зон тектонических нарушений [8], разрабатывается методический аппарат [5], ведется анализ природных условий [3, 9], проводится вероятностное моделирование [4, 24]. Иногда используются специфические дистанционные материалы, такие как результаты аэровизуальных обследований [12]. Однако, оптимальность использования тех или иных видов съемок применительно к линейным сооружениям и ЭГП еще не до конца исследована.

В настоящее время наблюдается значительное разнообразие средств получения дистанционной информации для ее последующей обработки и анализа (табл. 1).

В современных условиях для объектов, расположенных в криолитозоне, при малом периоде активизации экзогенных процессов периодичность космической и аэрофотосъемок оказывается сравнимой. Однако время получения данных аэрофотосъемки значительно больше из-за сложностей в организации съемочного процесса, а также из-за требований по прохождению дополнительных проверок и более сложного процесса обработки информации [7].

Цель работы – сравнительная оценка возможностей выявления ЭГП при мониторинге линейных сооружений в зоне многолетней мерзлоты с помощью космической съемки с разрешением 0.5 м/пикс и аэрофотосъемки с разрешением 0.2 м/пикс.

Исследование проведено для магистрального трубопровода в Восточной Сибири, в зоне горной тайги и тундры на южной границе распространения многолетней мерзлоты. Космо- и аэрофотосъемка были выполнены примерно в одно время, через год, после окончания строительства трубопровода. Криогенные процессы имели достаточно слабое развитие до начала строительства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для сравнительного анализа использовались космические снимки высокого разрешения (0.5 м/пикс), а также сканерные аэрофотоснимки с разрешением 0.2 м/пикс. В качестве вспомогательной информации применялись следующие базовые картографические продукты:

– цифровые модели рельефа масштабов 1:25000, 1:5000, на основе которых был получен ряд производных показателей: кривизна, крутизна склонов, классификация элементарных поверхностей, классификация морфоструктур, эрозионный индекс, индекс плоскостного смыва и др.;

– геологические карты;

– ландшафтные карты и карты растительности;

– результаты аэровизуального и полевого обследования.

Были выделены репрезентативные участки с проявлением широкого набора опасных экзогенных процессов. Всего выделено 9 участков протяженностью от 2.5 до 19.5 км. Общая протяженность полосы сравнительного анализа составила 45 км при ширине полосы обследования – 100 м.

Для каждого участка была разработана картографическая геоинформационная модель, позволяющая одновременно анализировать как материалы космосъемки и аэрофотосъемки, так и базовые картографические продукты.

В основу интерпретации положено сочетание прямых дешифровочных признаков и индикационного дешифрирования [6]. В качестве прямых дешифровочных признаков при экспертном дешифрировании использовались: цвет, форма контуров, ориентировка контуров, взаимное расположение, соседство контуров, микроструктура изображения и др. При индикационном дешифрировании применялись признаки отдельных компонентов среды (растительный покров, формы рельефа, особенности открытой поверхности почв и др.).

Особое внимание при дешифрировании было уделено текстурным дешифровочным признакам, как наиболее информативным.

Для установления дешифровочных признаков, прежде всего, характеризующих текстуру изображения, проведен выборочный анализ материалов аэро- и космосъемки.

На рис. 1 приведены эталонные изображения аэрофотосъемки (с разрешением 0.2 м/пикс) и космической съемки (0.5 м/пикс) для основных экзогенных геологических процессов и явлений. Наиболее часто встречающимися процессами и явлениями в пределах исследуемой трассы магистрального трубопровода являются подтопление–обводнение, подтопление–подпор, термоэрозия, эрозия, термокарст, зоны развития бугристых торфяников:

– под процессами подтопления–обводнения понималось появление водного зеркала в пределах трассы трубопровода достаточно значительной площади;

– под процессами подтопления–подпора понималось появление водного зеркала, сформированного потоком воды по градиенту рельефа, подпертого структурами трубопровода;

– под эрозионными процессами понималась, в первую очередь, линейная эрозия без признаков термоэрозионных процессов, в пределах расчистки трубопровода; эрозия могла быть направлена вдоль или поперек оси трубы;

– под термоэрозионными процессами понимались линейные проявления эрозии, сопровождающиеся вытаиванием мерзлого грунта;

– под просадочно-термокарстовыми процессами понимались процессы вытаивания мерзлого грунта, с формированием просадок в пределах полосы трубопровода, часто заполненных водой;

– в качестве зон развития бугристых мерзлых торфяников выделялись участки развития торфяных высокольдистых отложений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным элементом сравнительного анализа было численное сравнение количества и размеров выявленных ЭГП обоими методами. На первом этапе было проведено прямое сравнение параметров: количество очагов, длина (для линейных проявлений) и площадь (для площадных проявлений) выявленных ЭГП по каждому из участков. На втором этапе проведено сравнение долей выявленных процессов по количеству проявлений и линейным размерам. Результаты сравнений по каждому из этапов приведены в табл. 2, 3 соответственно.

В табл. 2 приведен результат сравнения параметров выявленных процессов по каждому из участков. Из анализа результатов видно, что полнота интерпретации ЭГП по космическим снимкам с разрешением 0.5 м/пикс и по аэрофотоснимкам с разрешением 0.2 м/пикс существенно различается. В первую очередь, можно выделить разницу количества выделенных очагов ЭГП – оно значительно больше по аэрофотоснимкам, чем по космическим снимкам. Разница в протяженности и площади ЭГП проявляется менее четко, однако, при дешифрировании космических снимков на многих участках параметры длины и площади процессов либо определены не точно, либо не определены вовсе. Наиболее существенные различия в качестве интерпретации ЭГП наблюдаются для процессов эрозии и подтопления–обводнения, которые распространены на всех участках и встречаются наиболее часто. Для них на аэрофотоснимках было выделено гораздо больше очагов проявления, а также более точно определены параметры длины и площади.

На рис. 2 приведен фрагмент результатов дешифрирования с использованием аэрофотосъемки и космической съемки, который иллюстрирует разницу в качестве интерпретации снимков.

Участки проявления бугристых торфяников как зоны, в которой возможна активизация ЭГП, анализировались отдельно. Бугристые торфяники были выделены на участках 7, 8 и 9.

Результаты дешифрирования природно-территориальных комплексов этого типа при интерпретации как космических снимков, так и аэрофотоснимков оказались одинаковыми, так как комплексы больших площадей определяются легче и точней.

В табл. 3 приведена доля выделенных ЭГП. За 100% принималось максимальное количество очагов или максимальное проявление процессов, установленное с помощью дешифрирования аэрофотосъемки и космосъемки.

Как видно из анализа результатов, представленных в табл. 3, по аэрофотосъемке удается выделить очаги ЭГП и определить их протяженность практически во всех случаях более точно,

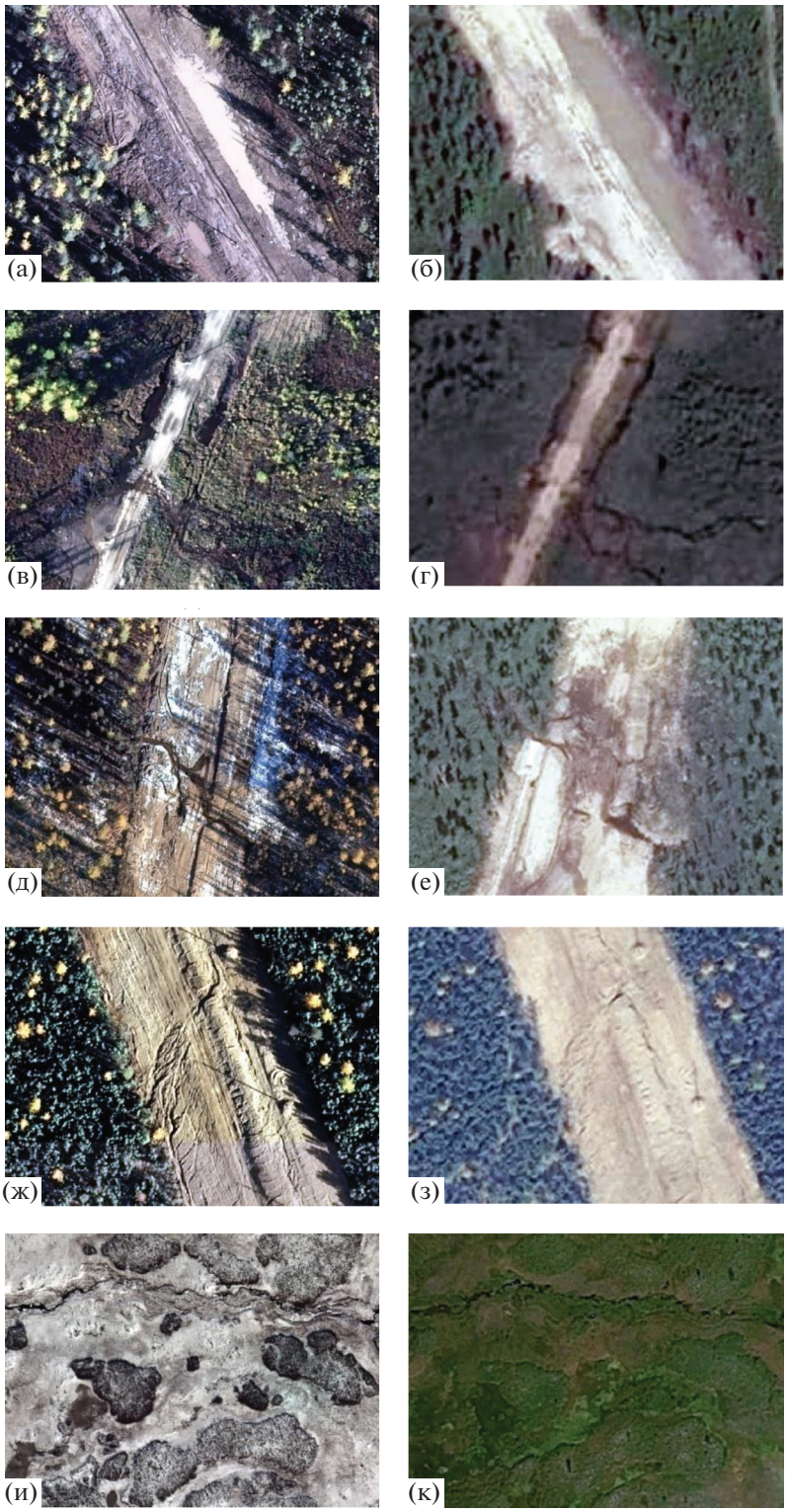

Рис. 1. Дешифровочные эталоны ЭГП. Подтопление–обводнение: а – аэрофотосъемка, б – космосъемка; подтопление–подпор: в – аэрофотосъемка, г – космосъемка; термоэрозия: д – аэрофотосъемка, е – космосъемка; эрозия: ж – аэрофотосъемка, з – космосъемка; бугристые мерзлые торфяники: и – аэрофотосъемка, к – космосъемка.

чем по космосъемке. Процент выделенных очагов по космическим снимкам составляет в среднем 30%, но для отдельных процессов, таких как, например, подтопление-подпор, он составляет 89%. Как уже отмечалось ранее, бугристые торфяники выделяются одинаково хорошо, как по аэрофотосъемке, так и космосъемке. При этом общая протяженность выделенных ЭГП состав-

Таблица 2. Результат сравнения параметров выявленных процессов по каждому из участков

№	Протяженность, км	Проявления ЭГП	Выделенные по космоснимкам 0.5 м/пикс			Выделенные по аэрофотоснимкам 0.2 м/пикс		
			Кол-во очагов	Длина, м	Площадь, м^2	Кол-во очагов	Длина, м	Площадь, м^2
1	3.5	Подтопление–обводнение	6		300	9		640
		Эрозия	0			3	347	50
2	2.5	Подтопление–обводнение	5		1130	6		1090
		Просадочно-термокарстовые	0			1		50
		Эрозия	1	40		2	60	
3	2.5	Просадочно-термокарстовые	0			1		50
		Эрозия	2	446		14	852	
4	2.5	Подтопление–обводнение	0			1		50
		Эрозия	6	154		13	831	
5	4.5	Эрозия	0			4	538	
6	2.5	Подтопление–обводнение	2		100	7		350
7	2.5	Подтопление–обводнение	0			3		150
		Подтопление–подпор	1		5080	2	238	7000
		Термоэрозия	0			4	624	
8	3.5	Подтопление–обводнение	7		4770	13		5070
		Подтопление–подпор	2		190	3		810
		Просадочно-термокарстовые	0			5		250
		Термоэрозия	0			3	311	
		Эрозия	6	513		6	533	
9	19.5	Подтопление–обводнение	25		49190	100		58190
		Подтопление–подпор	5		250	4		970
		Просадочно-термокарстовые	0			8		380
		Термоэрозия	0			5	1266	
		Эрозия	16	2423		66	8351	
Σ	43.5		84	3766	70100	283	13951	75100

Таблица 3. Доля выделенных ЭГП

Проявления ЭГП	Выделенные по космоснимкам 0.5 м/пикс			Выделенные по аэрофотоснимкам 0.2 м/пикс			Доля параметров выявленных процессов, %		
	кол-во очагов	длина, м	площадь, м^2	кол-во очагов	длина, м	площадь, м^2	кол-во очагов	протяженность	площадь
Подтопление–обводнение	45	0	55490	139	0	65540	32		85
Подтопление–подпор	8	0	5520	9	238	8780	89		63
Просадочно-термокарстовые	0	0	0	15	0	730	0		0
Термоэрозия	0	0	0	12	2201	0	0	0	0
Эрозия	31	3576	0	108	11512	50	29	31	0
Итого для ЭГП	84	3576	61010	283	13951	75100	30	15.5	29.6
Бугристые торфяники*	6		4277430	6		4277430	100		100

*Бугристые торфяники анализировались отдельно из-за значительно больших площадей проявления по сравнению с другими ЭГП.

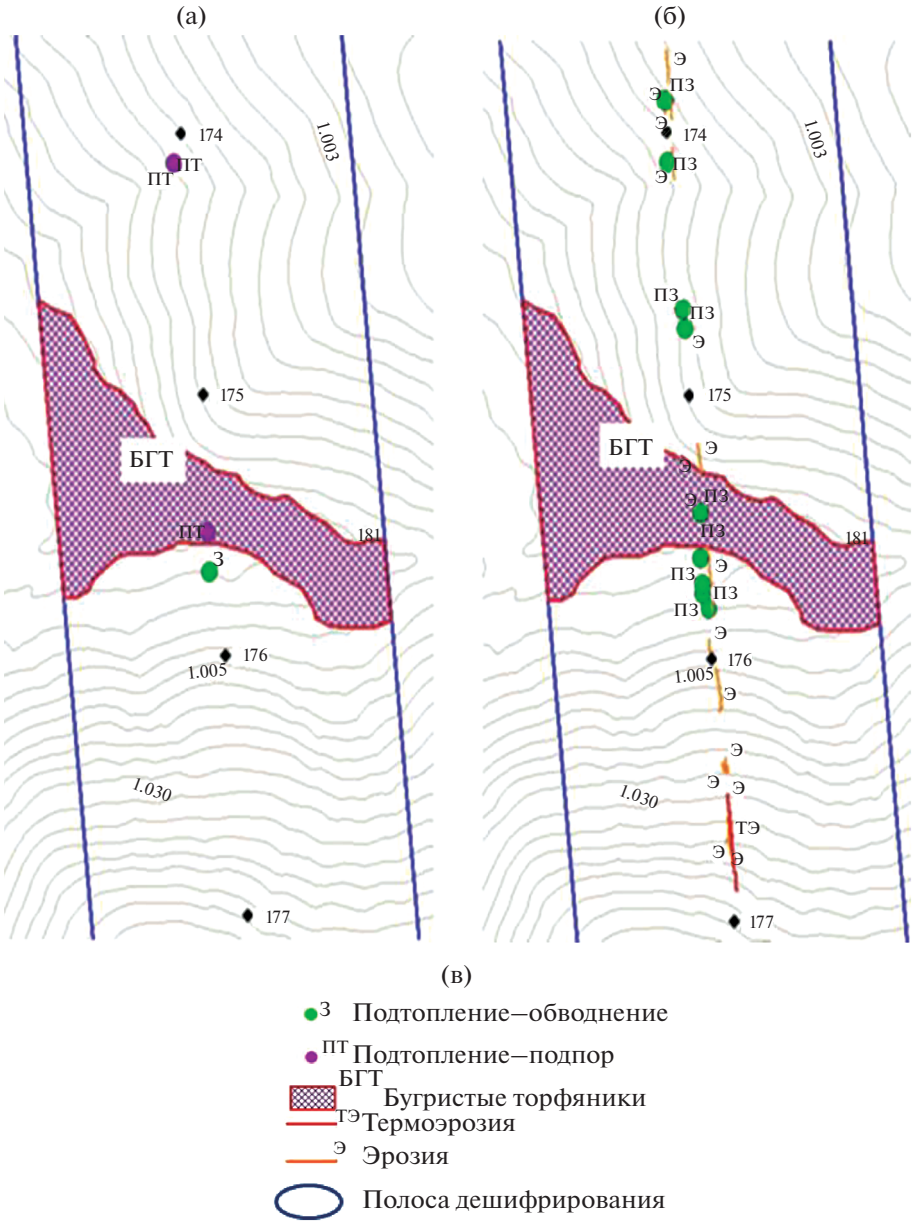

Рис. 2. Фрагмент результатов дешифрирования с использованием космической съемки (а) и аэрофотосъемки (б) и условные обозначения (в).

ляет для линейных проявлений 15.5%, для площадных проявлений 29.6%.

Низкий процент выявления линейных проявлений связан с начальными стадиями развития процессов, в первую очередь, термоэрозии и, соответственно, недостаточной шириной проявления процесса для уверенного дешифрирования. Процент выявления площадных проявлений является также низким, это связано в первую очередь с тем, что на начальных стадиях развития процесса, например, термокарстового, просадочные формы имеют малые размеры и не выделяются при дешифрировании материалов космосъемки. Однако, для процессов обводнения, имеющих зачастую значительные размеры и являющихся катализатором дальнейшего развития термокарстового процесса, процент выделения проявлений достигает 85%.

Можно сделать вывод, что использование снимков более мелкого масштаба значительно снижает точность выделения отдельных очагов, но при этом из-за генерализации точность выделения зон, подверженных ЭГП, падает не так значительно.

Наиболее точно по космическим снимкам выделяются участки с развитием бугристых торфяников и в некоторых случаях процессы обводнения. Линейные проявления процессов по космосъемке вы-

деляются недостаточно хорошо, в первую очередь потому, что ширина их проявлений часто оказывается недостаточна для уверенного выделения на снимках с разрешением 0.5 м/пикс.

Из анализа результатов дешифрирования видно, что на данном участке трассы за счет использования аэрофотоснимков сверхвысокого разрешения удалось выявить значительное количество дополнительных очагов ЭГП.

В настоящее время широкое развитие начинает получать мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). К сожалению, в настоящее время у авторов отсутствует соответствующий материал по той же территории, поэтому сравнительный анализ провести сложно. Однако, надо отметить, что использование БПЛА существенно повышает наглядность снимков процессов, позволяет засекать их в самых ранних стадиях. С другой стороны, трудоемкость организации мониторинга с помощью БПЛА значительно выше, чем с помощью космической съемки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показывают возможности дешифрирования различных экзогенных геологических процессов с помощью космической и аэрокосмической съемок, и выявляют основные различия между качеством интерпретации снимков. Полученные данные в дальнейшем могут применятся при изучении, контроле и мониторинге экзогенных процессов в зоне строительства линейный сооружений.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Использование космических снимков с разрешением 0.5 м/пикс позволяет выделить до 85% проявлений ЭГП и до 100% проявлений условий развития ЭГП.

2. При дешифрировании аэрофотоснимков с разрешением 0.2 м/пикс выявляется гораздо больше очагов проявления ЭГП, а также наиболее точно определяются параметры длины и площади процессов на исследуемых участках. При этом, в среднем с помощью космической съемки выделяется в 3–6 раз меньше проявлений ЭГП, что существенно снижает качество интерпретации снимков.

3. Целесообразно использовать сочетание космических снимков с разрешением 0.5 м/пикс и аэрофотосъемки 0.2 м/пикс для выделения как локальных очагов ЭГП, так и тенденций развития ЭГП на большей площади.

4. Недостатками использования только аэрофотосъемки высокого разрешения являются ограниченная обзорность аэрофотоснимков и существенные потери времени на обработку и подготовку снимков.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания и плана НИР по теме № г.р. АААА–А19–119021190077–6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антипов В.С. Волин К.А, Журавлев Е.А.* Выявление карстовых и суффозионно-карстовых объектов по материалам космических съемок в центральной части Восточно-Европейской платформы // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. 2016. № 4. С. 4–16.
2. *Викторов А.С.* Оценка динамических параметров экзогенных геологических процессов по материалам однократных аэрокосмических съемок // Геоэкология. 2014. № 2. С.
3. *Викторов А.С., Георгиевский Б.В., Капралова В.Н., Орлов Т.В., Трапезникова О.Н., Зверев А.В.* Опыт дистанционного мониторинга опасных геологических процессов по трассе трубопроводных систем (Восточная Сибирь) // Геоэкология. 2018. № 6. С. 50–58.
4. *Викторов А.С., Капралова В.Н., Архипова М.В.* Моделирование развития морфологической структуры эрозионно-термокарстовых равнин с использованием материалов дистанционных съемок // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 55–64.
5. *Лихвидов А.А., Черномуров М.В., Гришин В.В.* Методический аппарат тематического дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли в коридоре магистральных газопроводов // Наука. Инновации. Технологии. 2013. № 1. С. 124–129.
6. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000. М.: Недра, 1978. 393 с.
7. Методы дистанционного зондирования Земли при решении природоресурсных задач / Под ред. А.Ф. Морозова, А.В. Перцова. СПб: ВСЕГЕИ, 2004.
8. *Николаев Г.Б., Илларионов В.А., Вайс К.Е.* Применение дистанционных съемок при проектировании и строительстве линейных сооружений в условиях Европейского Севера // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 11. С. 20–23.
9. *Пупырев М.А.* Дешифрирование и индикация современных экзогенных процессов в геокриологическом мониторинге криолитозоны // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 4. С. 67–75.
10. *Пупырев М.А., Иванов О.Е.* ГИС-анализ инженерно-геокриологических условий освоения западного Ямала на основе приемов ландшафтной индикации // Вестник Тюменского государственного университета. 2008. Т. 3. № 2. С. 215–222.
11. *Сатдаров А.З.* Методы исследования регрессивного роста оврагов: достоинства и недостатки // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2016. Т. 158. № 2. С. 277–292.
12. *Сергеев Д.О., Перльштейн Г.З., Хименков А.Н., Халилова Ю.В., Угаров А.Н.* Аэровизуальные обследования для оценки опасности экзогенных геологических процессов на трассе магистрального нефтепровода (глава 13) // Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность средств хране-

ния и транспорта энергоресурсов. Науч. рук. Махутов Н.А. М.: МГОФ "Знание", 2019. С. 295–309.
13. *Слагода Е.А., Ермак А.А.* Дешифрирование экзогенных процессов типичных тундр полуострова Ямал на примере территории района среднего течения реки Юрибей // Вестник Тюменского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2014. № 4. С. 28–38.
14. *Холодилов И.В.* Комплексное картографирование эталонных зональных структур на основе анализа данных дистанционного зондирования // Вестник Тюменского государственного университета. 2009. № 3. С. 29–35.
15. *Якутин М.В., Пучнин А.Н.* Мониторинг термокарстовых образований в центральной Якутии с использованием методов дистанционного зондирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 4. № 2. С. 120–124.
16. *Anna K. Liljedahl et al.* Pan-Arcticice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology // Nature geoscience. 2016. P. 1–8.
17. *Boike Julia, Yoshikawa Kenji*. Mapping of Periglacial Geomorphology using Kite/ Balloon Aerial Photography // Permafrost and periglacial processes. 2003. V. 14. P. 81–85.
18. *Sannel, A.B.K., Brown, I.A.* High-resolution remote sensing identification of thermokarst lake dynamics in a subarctic peat plateau complex // Canadian Journal of Remote Sensing. 2010. V. 36. № 1. P. S26–S40.
19. *Eroglu H. et al.* Using high resolution images and elevation data in classifying erosion risks of bare soil areas in the Hatila Valley Natural Protected Area, Turkey // Stoch Environ Risk Assesse. 2010. 24. P. 699–704.
20. *Günther F. et al.* Observing Muostakh disappear: permafrost thaw subsidence and erosion of a ground-ice-rich island in response to arctic summer warming and sea ice reduction // Cryosphere. 2015. № 9. P. 151–178.
21. *Kenneth M. Hinke et al.* Methods to assess natural and anthropogenic thaw lake drainage on the western Arctic coastal plain of northern Alaska // Journal of Geophysical research. 2007. V. 11. F02S16.
22. *Liu L., Schaefer K., et al.* Seasonal thaw settlement at drained thermokarst lake basins, Arctic Alaska // Cryosphere. 2014. 8. P. 815–826.
23. *Ulrich M., Grosse G., Jens Strauss J., Schirmeister L.* Quantifying wedge-ice volumes in Yedoma and thermokarst basin deposits // Permafrost and periglacial processes. 2014. V. 25. № 3. P. 151–161.
24. *Victorov A.S., Orlov T.V., Kapralova V.N., Trapeznikova O.N., Sadkov S.A., Zverev A.V.* Stochastic Modeling of Human-Induced Thermokarst and Natural Risk Assessment for Existing and Planned Engineering Structures // Natural Hazards and Risk Research in Russia. Svalova V. (eds). 2019. Springer, Cham. P. 219–239.

COMPARATIVE ESTIMATION OF POSSIBILITIES OF DELINEATION OF GEOHAZARDS USING AIRBORNE AND SATELLITE IMAGES (PIPELINE CASE STUDY)

T. V. Orlov[a,#], A. V. Zverev[a], and V. V. Bondar[a]

[a] *Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per., 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

[#] *E-mail: tim.orlov@gmail.com*

For effective monitoring of geohazards for the pipelines, remote sensing data are the most common observation and analysis methods. Space and aerial photography are widely used to control hazardous processes occurring under natural conditions. Comparative assessment of the possibilities of identifying exogenous geological processes using airborne and satellite imagery of different resolutions is a crucial step in analyzing the quality and completeness of information obtained from images. Evaluation of information, first of all, includes a direct comparison of parameters, such as the number of foci, the length, and the area of identified exogenous processes; next the geohazard shares are compared by the number of manifestations and linear dimensions. The principal hazards were analyzed, such as flooding-waterlogging, flooding-backwater effect, thermal erosion, erosion, thermokarst, zones of hummocky peatland development. The comparative analysis of images showed a significant difference in the completeness of information interpretation. Deciphering space images makes it possible to determine up to 85% of geohazard manifestations, and the conditions for their development are almost completely identified. When interpreting aerial images, the parameters of length and area are most accurately determined. Much more centers of the geohazard manifestation are revealed, as compared to those provided from deciphering space images. Using space images and aerial photography of different resolutions in combination appears to be the best suitable way to monitor the linear structures.

Keywords: *satellite images*, *airborne images*, *deciphering*, *monitoring*

REFERENCES

1. Antipov, V.S., Volin, K.A, Zhuravlev, E.A. *Vyyavlenie karstovykh i suffozionno-karstovykh ob'ektov po materialam kosmicheskikh s'emok v tsentral'noi chasti Vostochnoi-Evropeiskoi platformy* [Identification of karst and suffusion-karst objects from space imagery in the central part of the East European platform]. *Vestnik SPbGU*, ser. 7. Geology. Geography, 2016, no. 4, pp. 4–16. (in Russian)
2. Viktorov, A.S. *Otsenka dinamicheskikh parametrov ekzogennykg geologicheskikh protsessov po materialam odnokratnykh aerokosmicheskikh s'emok* [Estimation of dynamic parameters of exogenous geological processes based on materials of single aerospace surveys]. Geoekologiya, 2014, no. 2, pp. 146–154. (in Russian)

3. Viktorov, A.S., Georgievskii, B.V., Kapralova, V.N., Orlov, T.V., Trapeznikova, O.N., Zverev, A.V. *Opyt distantsionnogo monitoringa opasnykh geologicheskikh protsessov po trasse truboprovodnykh sistem (Vostochnaya Sibir')* [Experience of remote monitoring of hazardous geological processes along the route of pipeline systems (Eastern Siberia)]. *Geoekologiya*, 2018, no. 6, pp. 50–58. (in Russian)
4. Viktorov, A.S., Kapralova, V.N., Arkhipova, M.V. *Modelirovanie razvitiya morfologicheskoi struktury erozionno-termokarstovykh ravnin s ispol'zovaniem materialov distantsionnykh s'emok* [Modeling the development of the morphological structure of erosion-thermokarst plains using remote sensing data]. *Issledovanie Zemli is kosmosa*, 2019, no. 2, pp. 55–64. (in Russian)
5. Likhvidov, A.A., Chernomurov, M.V., Grishin, V.V. Metodicheskii apparat tematicheskogo deshifrirovaniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli v koridore magistral'nylh gazorpvodov [Methodological apparatus for thematic interpretation of remote sensing data of the earth in the corridor of main gas pipelines]. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2013, no. 1, pp. 124–129. (in Russian)
6. *Metodicheskoe rukovodstvo po inzhenerno-geologuicheskoi s'emke masshtaba 1:200000* [Methodical guide for engineering-geological survey of scale 1: 200000]. Moscow, Nedra Publ., 1978, 393 p. (in Russian)
7. *Metody distantsionnogo zondirovaniya Zemli pri reshenii prirodoresursnykh zadach* [Methods of remote sensing of the Earth in solving natural resource problems]. Morozov, A.F., Pertsov, A.V., Eds. St. Petersburg, VSEGEI Publ. 2004. (in Russian)
8. Nikolaev, G.B., Illarionov, V.A., Weiss, K.E. *Primenenie distantsionnykh s'emok pri proektirovanii i stroitel'stve lineinykh sooruzhenii v usloviyakh Evropeiskogo Severa* [The use of remote sensing in the design and construction of linear structures in the European North]. *Vestnik instituta geologii Komi NTs UrO RAN,* 2011, no. 11, pp. 20–23. (in Russian)
9. Pupyrev, M.A. *Deshifrirovanie i indikatsiya sovremennykh ekzogennykh protessov v geokriologicheskom monitoringe kriolotozony* [Deciphering and indication of modern exogenous processes in permafrost geocryological monitoring]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta,* 2013, no. 4, pp. 67–75. (in Russian)
10. Pupyrev, M.A., Ivanov, O.E. *GIS-analiz inzhenerno-geokriologicheskikh uslovii osvoeniya zapadnogo Yamala na osnove priemov landshaftnoi indikatsii* [GIS analysis of engineering and geocryological conditions for the development of western Yamal on the basis of landscape indication techniques]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2008, vol. 3, no. 2, pp. 215–222. (in Russian)
11. Satdarov, A.Z. *Metody issledovaniya regressivnogo rosta ovragov: dostoinstva i nedostatki* [Methods for studying the regressive growth of ravines: advantages and disadvantages]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki.* 2016, vol. 158, no. 2, pp. 277–292. (in Russian)
12. Sergeev, D.O., Perlshtein, G.Z., Khimenkov, A.N., Khalilova, Yu.V., Ugarov, A.N. Aerovisual surveys to assess the hazard of exogenous geological processes along the main oil pipeline route (Chapter 13). *Bezopasnost' Rossii. Pravovue, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Bezopasnost' sredstv khraneniya i ucheta energoresursov* [Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific and technical aspects. Safety of means of storage and transport of energy resources]. Moscow, Znanie Publ., 2019, pp. 295–309. (in Russian)
13. Slagoda, E.A., Ermak, A.A. *Deshifrirovanie ekzogennykh protsessov tipichnykh tundr poluostrova Yamal na primere territorii raiona srednego techeniya reki Yuribei* [Deciphering the exogenous processes of typical tundra of the Yamal Peninsula on the example of the territory of the middle reaches of the Yuribei river]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, ser. Nauki o Zemle,* 2014, no. 4, pp. 28–38. (in Russian)
14. Kholodilov, I.V. *Kompleksnoe kartografirovanie etalonnykh zonal'nykh struktur na osnove analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya* [Complex mapping of reference zonal structures based on the analysis of remote sensing data]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta,* 2009, no. 3, pp. 29–35 (in Russian).
15. Yakutin, M.V., Puchnin, A.N. *Monitoring termokarstovykh obrazovanii v tsentralnoi Yakutii s ispol'zovaniem metodov distantsionnogo zondirovaniya* [Monitoring of thermokarst formations in central Yakutia using remote sensing methods]. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 120–124. (in Russian)
16. Liljedahl, A.K. et al. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology. *Nature geoscience*, 2016, pp. 1–8.
17. Boike, J., Yoshikawa, K. Mapping of Periglacial Geomorphology using Kite // Balloon Aerial Photography. *Permafrost and periglacial processes*, 2003, vol. 14, pp. 81–85.
18. Sannel, A.B.K., Brown, I.A. High-resolution remote sensing identification of thermokarst lake dynamics in a subarctic peat plateau complex. *Canadian J. of Remote Sensing.* 2010, vol. 36, no. 1, pp. S26–S40.
19. Eroglu, H. et al. Using high resolution images and elevation data in classifying erosion risks of bare soil areas in the Hatila Valley Natural Protected Area, Turkey. *Stoch. Environ. Risk Assess.,* 2010, no. 24, pp. 699–704.
20. Günther F. et al. Observing Muostakh disappear: permafrost thaw subsidence and erosion of a ground-ice-rich island in response to arctic summer warming and sea ice reduction. *The Cryosphere.* 2015, no. 9, pp. 151–178.
21. Hinke, K.M. et al. Methods to assess natural and anthropogenic thaw lake drainage on the western Arctic coastal plain of northern Alaska. *Journal of geophysical research*, 2007, vol. 11, F02S16.
22. Liu, L., Schaefer K., et al. Seasonal thaw settlement at drained thermokarst lake basins, Arctic Alaska. *The Cryosphere,* 2014, no. 8, pp. 815–826.
23. Ulrich, M., Grosse, G., Strauss, J., Schirmeister, L. Quantifying wedge-ice volumes in Yedoma and thermokarst basin deposits. *Permafrost and periglacial processes*. 2014.
24. Victorov, A.S., Orlov, T.V., Kapralova, V.N., Trapeznikova, O.N., Sadkov, S.A., Zverev, A.V. Stochastic modeling of human-induced thermokarst and natural risk assessment for existing and planned engineering structures. *Natural Hazards and Risk Research in Russia*. Svalova, V., Ed. 2019, Springer, Cham, pp. 219–239.