

**Мониторинг русловых процессов в Арктической зоне РФ с применением БПЛА
в рамках комплексной экспедиции РГО «Арктическая уборка»
(на примере р. Хатанга, Красноярский край)**

¹ НИИ ЦЭПП, г. Москва, Российская Федерация

² РТУ МИРЭА, г. Москва, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

⁴ Институт географии РАН, г. Москва, Российская Федерация

⁵ Институт космических исследований РАН, г. Москва, Российская Федерация

⁶ Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

**gnedenko.a.e@igras.ru*

Исследования, проводимые на пространствах, относящихся к территориям Арктической зоны Российской Федерации связаны со значительными транспортными и климатическими сложностями, вместе с тем, актуальность их реализации в полной мере соответствует содержанию Указа Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации 28 февраля 2024 года № 145).

В 2023-2024 гг. в рамках реализации проекта РГО «Арктика. Генеральная уборка» в сельском поселении Хатанга была проведена механическая очистка части территорий, загрязненных отходами отдельных видов, образованных в результате осуществления предыдущей хозяйственной деятельности предприятий, проведена предварительная оценка степени загрязнения территории и негативных воздействий на окружающую среду.

Основной научной задачей экспедиции определено проведение стратегической социально-экологической оценки территории. Методические подходы стратегической социально-экологической оценки позволяют выявлять объективные закономерности эволюции экосистем и природных комплексов, определить приоритеты сохранения и развития культурного наследия и направления формирования инфраструктуры экологического туризма.

Для съемки загрязненных участков прибрежных склонов и береговой линии р. Хатанга протяженностью свыше 1250 м в 2023-2024 году использовались БПЛА модели DJI Mini 2. При проведении съемки перекрытие кадров составляло порядка 70%, высота съемки была установлена на 30 метрах. Низкая высота и большая площадь перекрытия кадров были необходимы для обеспечения максимально высокого пространственного разрешения итогового ортофотоплана [1, 2]. Всего было получено более 2000 снимков. Точность измерений имеет аппаратную \pm погрешность 26 см (± 10 см при фиксации в 2023 году, ± 16 см при фиксации в 2024 году).

Пространственное разрешение итогового ортофотоплана составило 1,5 см на пиксель, цифровая модель рельефа получена в разрешении 7 см на пиксель, что не только даёт высокоточную информацию о состоянии береговой зоны, но также является качественной основой для организации мониторинга.

Полученные изображения трехмерного пространства береговой зоны и селитебной территории с.п. Хатанга позволяют с высокой точностью перейти к исследованиям поверхности территории в четырехмерном пространстве - посредством мониторинга через серии разновременных снимков, отражающих изменения мелких форм морфоскульптуры рельефа для изучения происходящих в ландшафтах процессов и явлений (после выявления и уточнения во время натурных обследований).

Для анализа русловых процессов были проанализированы спутниковые снимки Landsat с 1973 по 2024 [3]. Из проанализированных материалов следует, что заметного изменения

положения коренного берега не происходило, тем не менее, заметно увеличилась площадь отмелей и внутрирусловых островов (рис. 1).

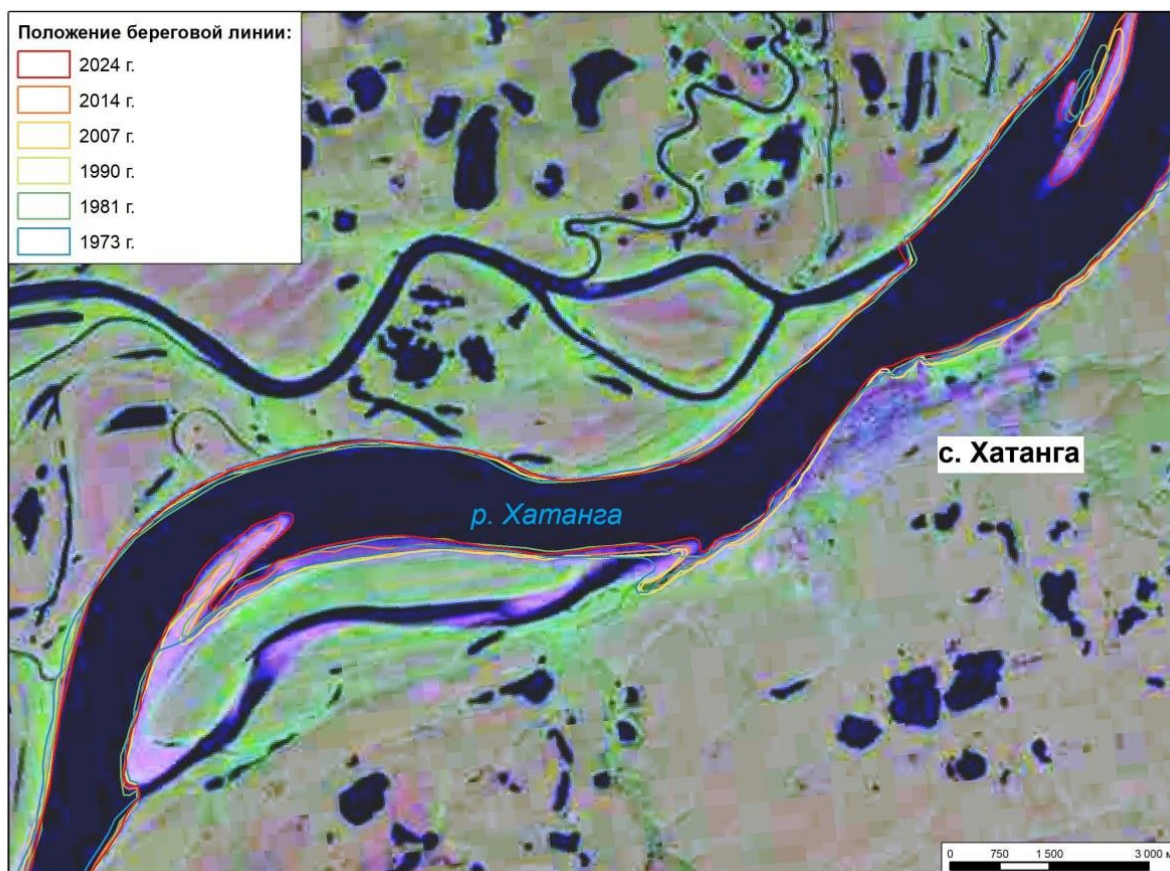


Рис. 1. Пространственные изменения береговой линии в окрестностях с.п. Хатанга с 1973 по 2024 гг.

Выявленные изменения на значительной части береговой линии по коренному берегу в окрестностях сельского поселения Хатанга не превышают возможную ошибку определения положения из-за пространственного разрешения снимка (30 м на пиксель). Изменения береговой линии могут быть связаны со взаимоисключающими причинами:

i уменьшением количества осадков и увеличением межени р. Хатанга, - вместе с тем, уменьшение количества осадков ускоряет пространственную транспирацию и способствует увеличению мощности сезонно-деятельностного слоя (сезонно-талого слоя), что, в свою очередь, может способствовать увеличению количества несвязных многолетней мерзлотой четвертичных осадочных отложений, поступающих в твёрдый сток реки Хатанга;

ii увеличением количества осадков и увеличением вместе с этим количества четвертичных осадочных отложений, поступающих в твёрдый сток реки Хатанга в связи с активизацией эрозийных процессов.

Вместе с тем, использование БПЛА делает доступным построение детальных ортофотопланов, посредством которых трансформация береговых линий может быть представлена изменениями конфигурации изогипс и объемного сложения береговых отложений.

Проведенные в летний период в 2023 и 2024 году измерения позволили заложить основу мониторинга береговых процессов р. Хатанга в районе одноименного сельского поселения. Полученные материалы позволили выявить области высокого правого берега, подверженные изменениям (рис. 2).



Рис. 2. Соотношение ортофотопланов береговой линии с.п. Хатанга в 2023 и 2024 гг.

Углубление промоин в высоком правом берегу р. Хатанга по результатам 2-летнего мониторинга составило от 0 см \pm 26 см до 120 см \pm 26 см. На приведенном выше изображении видно, что помимо высокого берега отмечены изменения положения объектов, расположенных в р. Хатанга, что объясняется нами изменением уровня воды в реке (разница меженных значений), а также в районе хозяйственных построек, что объясняется нами как разницей отражения при разном уровне освещенности объектов, существующей погрешностью измерений, или непосредственно процессами эрозионного разрушения (и оползания) берега, так как отдельные постройки непосредственно граничат с эрозийными формами рельефа (рис. 3).



Рис. 3. Эрозионные процессы на высоком правом берегу р. Хатанга

Следует отметить, что проблема процесса разрушения высокого правого берега р. Хатанга была отмечена администрацией с.п. Хатанга, что послужило основой для разработки проекта берегоукрепительных сооружений. Полученный нами материал позволит в будущем оценить эффективность реализации мероприятий, направленных на укрепление берега.

В результате проведенного нами исследования:

- i отмечено развитие русловых процессов р. Хатанга, связанных с увеличением площади отмелей и внутрирусловых островов;
- ii подтверждено развитие процесса углубления промоин в высоком правом берегу р. Хатанга, для разных участков берега промоины увеличились от 0 см \pm 26 см до 120 см \pm 26 см;
- iii отмечено влияние аппаратных различий использованных БПЛА на погрешности точности измерений, что будет учитываться при продолжении мониторинга.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №FSFZ-2024-0040 (Разработка научно-обоснованных предложений по восстановлению потенциала и созданию инфраструктуры для обеспечения устойчивого социально-экономического развития отдаленных территорий (на примере с.п. Хатанга))

Работы по анализу спутниковых снимков выполнены в рамках гранта РФФИ №22-17-00168 «Биогеографические последствия изменений климата в российской Арктике».

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Литература

1. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферов В.Г. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2010. 102 с.
2. Rulev A.S., Yuferev V.G. The catena-logistical approach to the estimation and mapping of erosion processes on water catchment areas with the use of spaceaerophotos. Proceedings of the tenth International symposium on river sedimentation «Effects of river sediments and channel processes on social, economic and environmental safety». Moscow. 2007. pp. 348-355.
3. Открытая база спутниковых снимков, предоставляемых Геологической службой США. EarthExplorer USGS (U.S. Geological Survey) [Электронный ресурс] URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Дата последнего успешного обращения: 15.10.2024 г.