



Модель комплексного мониторинга элементов геотехнической системы на лицензионных участках нефтегазоконденсатных месторождений

С.В. Дроздов¹✉, Л.Н. Гилёва¹

¹ Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина,
Омск, Россия
✉ dsv_55@mail.ru

цитирование Дроздов С.В., Гилёва Л.Н. Модель комплексного мониторинга элементов геотехнической системы на лицензионных участках нефтегазоконденсатных месторождений // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 1. С. 141–156. DOI:10.30533/GiA-2026-009.

ключевые слова показатель мониторинга, природная среда, геотехническая система, модель комплексного мониторинга, опасный геологический процесс, технологический объект, геопространственная модель, техногенное воздействие, нефтегазоконденсатное месторождение

аннотация Безопасная эксплуатация и бесперебойная работа объектов, организующих технологический процесс добычи, переработки и транспортировки углеводородного сырья, обеспечивает энергетическую, экологическую и экономическую стабильность государства. Критические трансформации природных, техногенных и природно-техногенных компонентов окружающей среды способны провоцировать нарушения в работе производственных объектов, возникновение аварий, экологических катастроф, сопровождающихся несчастными случаями, материальным ущербом, длительными перебоями в работе. В связи с этим возникает необходимость в сохранении ресурсного потенциала природной среды и в организации рационального природопользования в границах лицензионных участков углеводородных месторождений. Бесконфликтное сосуществование компонентов природной среды и объектов технологического процесса нефте- и газодобычи заключается в снижении уровня взаимного негативного воздействия и может быть достигнуто за счет проведения комплексного мониторинга земель лицензионных участков углеводородных месторождений. В статье описаны применяемые методы проведения комплексного мониторинга, дано понятие геотехнической системы и представлен комплекс показателей

для мониторинга ее компонентов. Предлагаются мероприятия по совершенствованию методических положений сбора и обработки данных дистанционного зондирования Земли с применением беспилотных воздушных судов в соответствии с задачами и особенностями проведения мониторинговых исследований. Сформирована модель комплексного мониторинга геотехнической системы.

1 Введение

В мировом масштабе Россия обладает значительными запасами углеводородного сырья, большая часть которых сосредоточена в регионах со сложными природно-климатическими и физико-географическими характеристиками. Сюда относятся территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов и Республики Саха (Якутия), в обозримом будущем рассматриваемой как центр нефтяной и газовой промышленности на востоке России. Промышленное освоение таких земель создает агрессивную среду внутри геотехнической системы, которая в данном контексте рассматривается как совокупность непрерывно взаимодействующих природно-технических элементов.

К числу природно-технических элементов геотехнической системы относятся:

- 1) природная среда (гидрология, почва, растительность);
- 2) геологическая среда (верхние слои горного пространства);
- 3) антропогенная среда (промышленные и хозяйственные объекты).

Мониторинг элементов геотехнической системы обеспечивает их устойчивое состояние, особенно в границах лицензионных участков объектов нефтегазового комплекса. Конструктивным способом решения задач развития и обустройства лицензионных участков является комплексный подход к мониторингу состояния всех элементов геотехнической системы и обеспечению их безопасности и надежности на всех жизненных циклах нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) [1].

Разработанная модель комплексного мониторинга на лицензионных участках НГКМ позволяет оценить состояние территории, в частности земель и ландшафтов [2]. Модель включает визуально-оптические наблюдения с применением беспилотных летательных аппаратов, геологические (геокриологические и геогидрологические) и геодезические наблюдения.

Апробирование разработанной модели позволяет сделать вывод, что аэрофотосъемка (АФС) является наиболее эффективным методом проведения визуально-оптических наблюдений и получения первичной информации о состоянии геотехнической системы, а также дает надежную топографическую основу (в виде ортофотопланов и цифровых моделей рельефа) для картирования текущего состояния и прогнозирования развития негативных процессов и явлений, воздействующих на все входящие в данную систему элементы.

По мнению авторов, разработанная модель (в состав которой входят подсистемы планирования работ; сбора и обработки полученных в результате визуально-оптических, геокриологических и геодезических наблюдений данных; сопоставительного анализа с данными прошлых лет; накопления и хранения данных) обеспечивает всесторонний и комплексный подход к мониторингу геотехнической системы на лицензионных участках НГКМ, а также способствует эффективному решению задач комплексного мониторинга на всех этапах его проведения с помощью современных методов и технологий ведения работ.

2 Материалы и методы

2.1 Общие положения о комплексном мониторинге

Комплексный мониторинг геотехнической системы представляет собой технологию, позволяющую контролировать, прогнозировать и регулировать состояние всех входящих в нее элементов в границах отведенных земель, а также в зонах влияния технологических объектов посредством регулярных визуально-оптических, геокриологических и геодезических наблюдений [3, 4]. Цель разработки и внедрения комплексного мониторинга во все жизненные циклы НГКМ заключается в снижении рисков и предупреждении возникновения техногенных аварий и экологических катастроф вследствие негативных процессов и явлений как природного, так и антропогенного характера.

В рамках комплексного мониторинга проводятся регулярные наблюдения за развитием опасных геологических процессов, среди которых распространены эрозия, выветривание, солифлюкция, карстовые формы, заболачивание, обводнение и нарушение стока. Показателями этих процессов являются площадь распространения, пространственное положение, удаленность от объектов промышленной и хозяйственной инфраструктуры и динамика развития [5, 6].

Геологические и геодезические наблюдения за компонентами геологической и антропогенной среды выполняются посредством ручного опроса специальным образом оборудованных точек инженерного обеспечения:

- термометрических скважин (контроль температурного режима верхних слоев геологического пространства и грунтов оснований инженерных сооружений в зоне влияния промышленных объектов);
- гидрогеологических скважин (контроль гидрогеологического состояния геологического пространства и грунтов оснований инженерных сооружений);
- грунтовых реперов и деформационных марок (контроль пространственного положения и геометрических характеристик инженерно-технических объектов, опасных геологических процессов и компонентов природной среды).

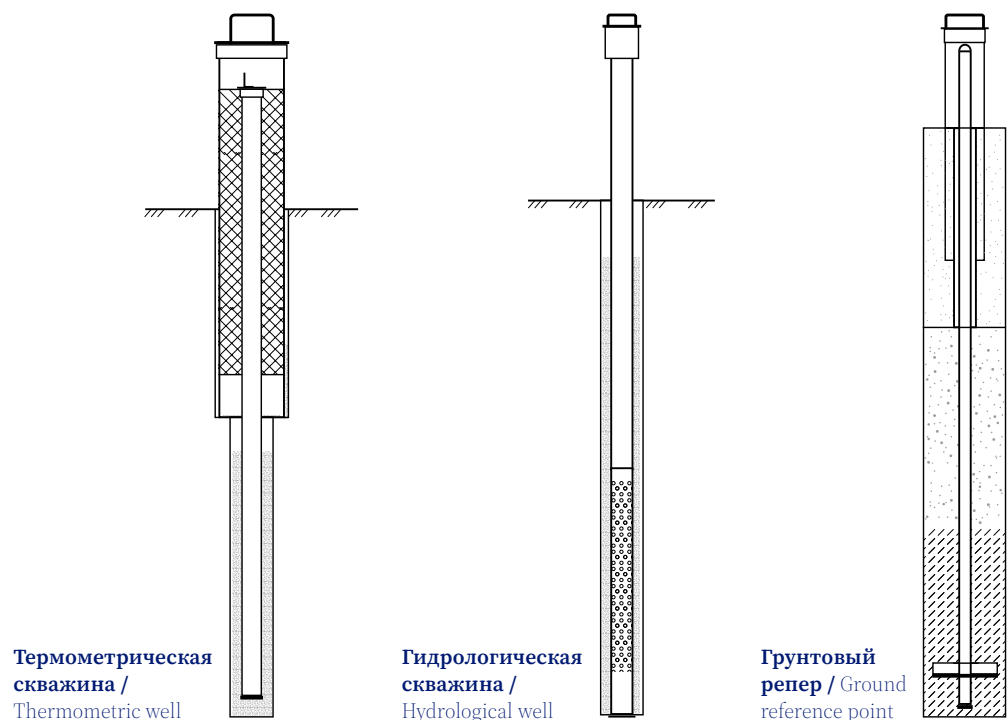
Конструктивные элементы геотехнической сети для проведения геокриологических и геодезических наблюдений в рамках комплексного мониторинга представлены на рис. 1.

Рис. 1 ➔

Конструктивные элементы
геотехнической сети

Fig. 1

Structural components
of the geotechnical monitoring
network



Топографической основой для картирования наблюдаемых процессов и явлений чаще всего являются цифровые материалы инженерных изысканий, в лучшем случае актуализированные по материалам исполнительных геодезических съемок, в то время как во многих отраслях хозяйственной деятельности внедряются более надежные и эффективные технологии для получения геопространственных данных — наземное лазерное сканирование, воздушное лазерное сканирование и АФС с пилотируемых или беспилотных летательных аппаратов [7–9]. В большей степени это связано с отсутствием разработанных и утвержденных методик проведения мониторинговых исследований по материалам АФС, а также с нехваткой квалифицированного персонала.

Наиболее популярной и доступной на сегодняшний день технологией дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является АФС с использованием беспилотных воздушных судов (БВС). Этот метод имеет ряд неоспоримых преимуществ, среди которых стоит отметить возможность проведения работ с относительно небольших высот в непосредственной близости от объекта, что способствует получению снимков с очень высоким разрешением (до 1 см/пикс) и среднеквадратической ошибкой привязки к местности, примерно равной значению проекции пикселя на местности в используемой системе координат. Это обеспечивает высокий уровень детализации цифровых моделей геопространства при фотограмметрической обработке материалов АФС. Весомым преимуществом также является оперативность получения большого объема данных за относительно небольшой промежуток времени: до 20 га за 20 мин. [10–13].

2.2 Современные методы получения геопространственных данных и их внедрение в технологию проведения комплексного мониторинга

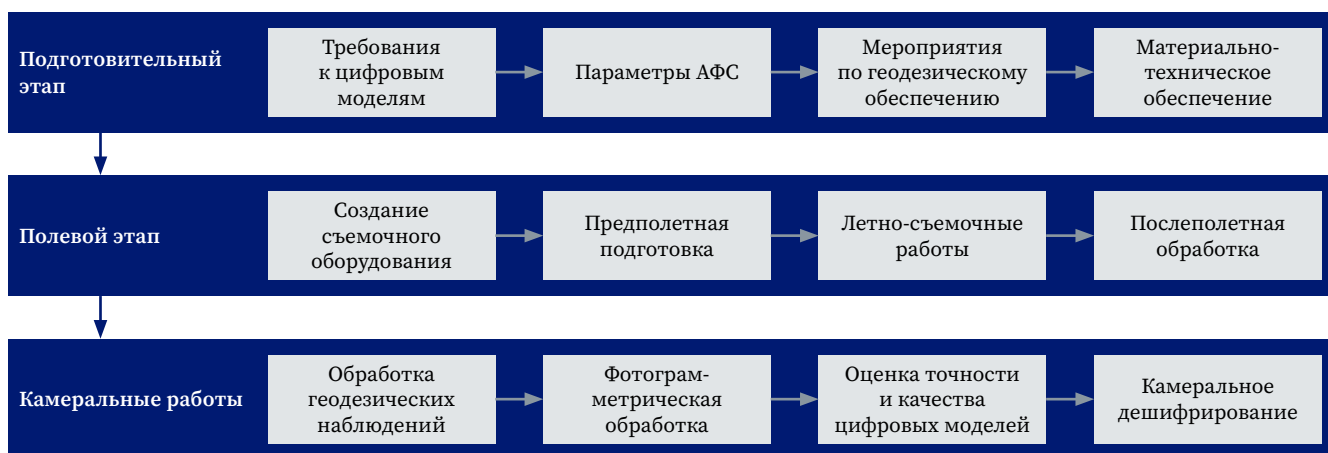
Вопросы мониторинга земель (в том числе с применением БВС) и его методические основы рассмотрены в многочисленных теоретических и прикладных исследованиях и научных работах ученых-практиков: А.А. Алябьева, В.В. Беленко, Л.В. Быкова, А.В. Дубровского, И.Г. Журкина, А.П. Карпика, А.В. Комиссарова, П.И. Костина, А.С. Костюка, В.А. Малинникова, А.П. Сизова, Т.А. Хлебниковой, Д.А. Шаповалова, Х.К. Ямбаева и др.

Разработкой и внедрением современных технологий, технических и программных средств в различные отрасли хозяйственной деятельности для решения широкого круга задач в настоящее время занимается большое количество как отечественных, так и зарубежных научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий. Среди российских производителей БВС стоит отметить компанию «Геоскан» (Санкт-Петербург) и группу компаний «Беспилотные системы» (Ижевск).

Технологическая схема сбора и обработки данных ДЗЗ с применением БВС представлена на рис. 2.

Рис. 2 
Технологическая схема сбора и обработки данных ДЗЗ

Fig. 2
Workflow for acquisition and processing of Earth observation data



Технологическая схема сбора и обработки данных ДЗЗ с применением БВС включает три основных этапа: подготовительный, полевой и камеральный. Однако для проведения аэрофотосъемочных работ с целью комплексного мониторинга требуется более детальная проработка методики сбора и обработки данных на основе наблюдаемых компонентов, показателей и других факторов, которые могут меняться в промежутке между циклами.

Технология проведения АФС с применением БВС в рамках режимных наблюдений мониторинга предполагает следующее:

- требования, предъявляемые к цифровым моделям геопространства, основаны на компонентах и показателях мониторинга, имеющейся информации о типе местности и других данных, отражающих ситуацию в границах проведения работ;
- расчет параметров АФС выполняется в автоматическом режиме, средствами специализированного программного обеспечения (ПО), совместимого с системой управления беспилотного летательного аппарата, в соответствии с максимально возможными требованиями к качеству фотографического материала и безопасности проведения аэрофотосъемочных работ;
- съемочное обоснование (опорные знаки и контрольные точки) для геодезического обеспечения АФС разработано сообразно условиям его регулярного и долгосрочного использования (конструкция, разметы и размещение съемочного обоснования должны обеспечивать его сохранность и уверенное распознавание на аэрофотоснимках);
- характеристики используемого воздушного судна соответствуют минимально необходимым, но достаточным техническим требованиям;
- бесперебойный контроль выполнения полетного задания обеспечивается за счет размещения наземной станции управления на максимально возвышенном месте в зоне проведения работ;
- место взлета / посадки воздушного судна соответствует требованиям безаварийного проведения летно-съемочных работ и регламентированным пунктам инструкции по эксплуатации;
- процесс камеральной обработки автоматизирован за счет мобилизации имеющихся инструментов ПО и технических возможностей рабочей станции.

Для того чтобы повысить эффективность проведения комплексного мониторинга геотехнической системы и входящих в его состав аэрофотосъемочных работ, а также работ, требующих регулярного геодезического обеспечения, на территориях лицензионных участков НГКМ необходимо создавать сети постоянно действующих базовых станций глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

Учет вышеобозначенных факторов в процессе комплексного мониторинга позволит значительно повысить производительность, точность и качество геопространственных данных для выявления присутствия и картирования негативных процессов и явлений, воздействующих на геотехническую систему и провоцирующих возникновение техногенных аварий и экологических катастроф на лицензионных участках НГКМ, и при этом исключить ошибки, вызванные погрешностями пунктов имеющейся геодезической сети, а также некоторые ошибки, связанные с человеческим фактором.

Разработанная авторами модель комплексного мониторинга элементов геотехнической системы на лицензионных участках НГКМ представлена на рис. 3. Она включает следующие подсистемы:

- разработки технического проекта и планирования работ по каждому отдельно взятому объекту мониторинга;
- сбора комплексных данных о техническом состоянии инженерных сооружений и негативных процессах как природного, так и антропогенного происхождения;
- обработки геодезических измерений, фотограмметрической обработки материалов визуально-оптических наблюдений и данных, полученных в процессе опроса сетей геотехнического мониторинга;

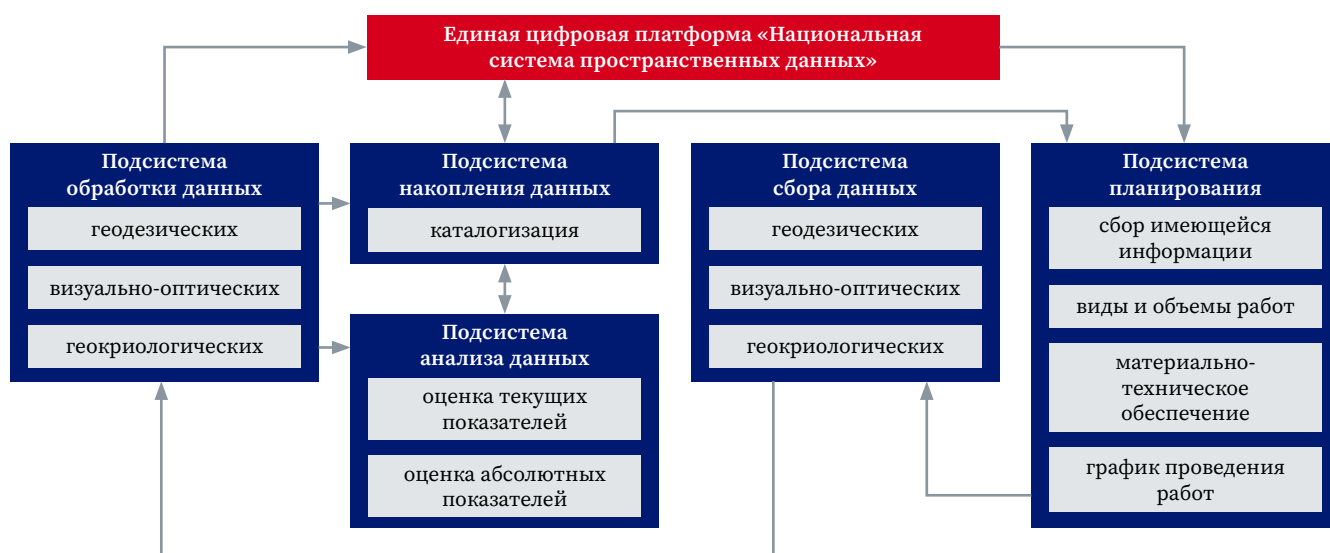


Рис. 3

Модель комплексного мониторинга элементов геотехнической системы

Fig. 3

Integrated monitoring model for geotechnical system components

- анализа текущего состояния обследованных компонентов окружающей среды и инженерных сооружений, оценки динамики трансформации;
- накопления, хранения данных и управления ими, организации прав доступа в соответствии с установленным уровнем.

Предложенная модель имеет хороший уровень детализации всех входящих в нее подсистем.

Среди преимуществ разработанной модели комплексного мониторинга элементов геотехнической системы можно отметить следующие:

1. Подсистема планирования работ использует все доступные источники информации, в том числе Единую цифровую платформу «Национальная система пространственных данных» (НСПД)¹.
2. Подсистема сбора данных включает проведение визуально-оптических (методами ДЗЗ с использованием БВС), геологических и геодезических наблюдений.
3. Подсистема обработки данных предусматривает обновление:
 - информации о топографо-геодезической изученности района работ;
 - топографической основы на основе цифровых моделей геопространства и ортофотопланов;
 - информации о состоянии геологической среды и горном пространстве.
4. Подсистема анализа текущих и абсолютных показателей включает оценку динамики наблюдаемых процессов и явлений, протекающих в геотехнической системе.
5. Подсистема накопления и хранения полученных результатов, организованная в виде внутреннего централизованного локального ресурса с индивидуальным подходом к предоставлению прав доступа для пользователей, с обновлением на регулярной основе, использует разные источники данных: материалы проведенных мониторинговых исследований, метеорологические станции, открытые и коммерческие геопорталы с материалами космических съемок, материалы вновь проводимых инженерных изысканий и др.

Полученные при проведении комплексного мониторинга геотехнической системы материалы могут быть использованы для локального повышения разрешительных характеристик данных ДЗЗ в НСПД, а также для обновления семантической информации об инженерно-технических сооружениях и коммуникациях, о занимаемых ими землях и других объектах геотехнической системы в границах лицензионных участков нефтегазового комплекса.

¹ Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных»: Постановление Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112070014> (дата обращения: 19.12.2024).

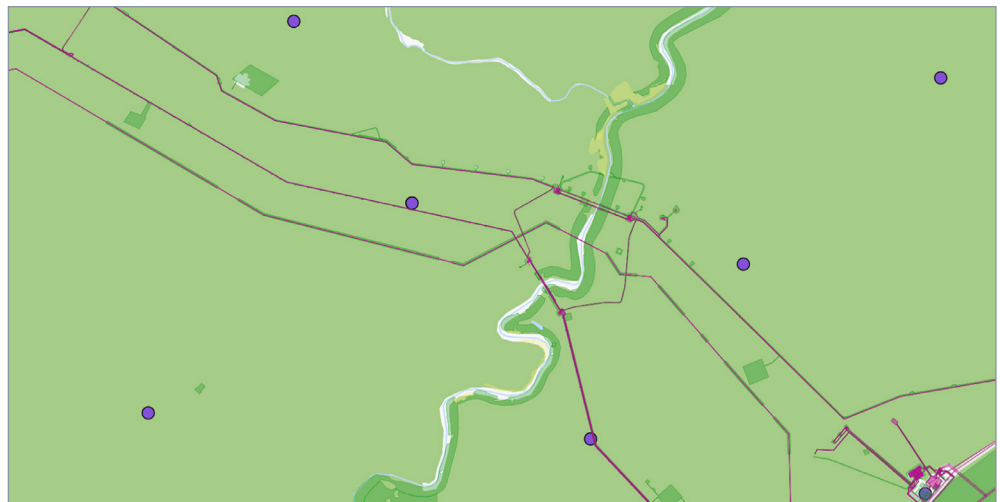
3 Результаты

Апробация разработанной модели выполнена в рамках экспериментальных исследований. В качестве объекта был выбран земельный участок, расположенный на юго-западе Ленского улуса (района) Республики Саха (Якутия) на территории действующего НГКМ. В границах рассматриваемого земельного участка находятся объекты трубопроводной сети, требующие регулярных комплексных мониторинговых наблюдений.

В подсистеме планирования был выполнен сбор информации о геодезической изученности участка проведения работ, материалов инженерно-геологических и геодезических изысканий, данных ранее проведенных опросов геотехнической сети и пр. На основании полученной информации определены виды и объемы работ, требования к цифровым моделям геопространства, параметрам АФС, комплекс материально-технического оснащения и составлен график проведения работ.

Согласно информации, полученной в НСПД, в районе проведения работ (рис. 4) расположено 5 пунктов государственной геодезической сети (ГГС), 3 особо охраняемых природных территории, 15 зон с особыми условиями использования территорий, 27 инженерных сетей.

Рис. 4 
Район проведения работ
Fig. 4
The research land area



В отношении объекта исследования выполнялись визуально-оптические, геодезические, геологические, геокриологические (температура грунтов), гидрологические (уровень грунтовых вод) наблюдения. Работы по комплексному мониторингу были выполнены на участке площадью 150 га, в границах которого находятся: 5 пунктов ГГС, 6 грунтовых реперов, 11 деформационных марок, 15 термометрических и 12 гидрологических скважин. Комплекс материально-технического оснащения включает: BBC Geoscan Gemini, комплект спутникового геодезического оборудования Fora 20SE, цифровой нивелир Leica, трассоискатель RD8000, комплект для термометрических наблюдений (термокосы и контроллер), гидрологическую рулетку.

Для определения показателей комплексного мониторинга элементов геотехнической системы на лицензионных участках НГКМ были проанализированы нормативно-технические и правовые акты, регулирующие мониторинг подсистем окружающей среды, и проектная документация, разработанная для каждой системы мониторинга [14, 15].

Показатели комплексного мониторинга элементов геотехнической системы и периодичность наблюдений представлены в табл. 1.

Подсистема наблюдений включала геодезические, визуально-оптические и геологические наблюдения.

В процессе геодезических наблюдений были обследованы пункты ГГС, выполнены контрольные наблюдения, между ближайшими двумя пунктами ГГС

Таблица 1

Показатели комплексного мониторинга элементов геотехнической системы

Table 1

Integrated monitoring indicators for geotechnical system components

Среда	Компонент мониторинга	Цель	Показатели	Периодичность
Природная	Земля	Оценка текущего состояния земель, выявление изменений, их оценка, прогноз, предотвращение и устранение последствий от негативных влияний	Загрязненные / захламленные	Ежегодно в бесснежный период
			Нарушение / изменение	
			Динамика развития	
	Растительный покров	Анализ санитарного состояния лесов, контроль рубок и санитарных зон для управления защитой лесов и обеспечения их безопасности	Состояние растительности	Ежегодно в весенне-летний период
			Таксационные характеристики	
			Незаконная деятельность	
Водные объекты	Оценка негативного влияния на водные ресурсы, разработка мер по предотвращению последствий, оценка эффективности охраны водных объектов	Урез воды	Ежегодно в летний или осенний период	
		Густота эрозионной сети		
		Залуженные участки		
Геологическая	Геокриологические условия	Комплексная оценка текущих температурных, гидрологических, физико-механических и прочих характеристик многолетнемерзлых пород	Температурное состояние грунтов	Два раза в год
	Гидрологическое состояние грунтов			
	Опасные геологические процессы	Выявление присутствия и оценка динамики развития негативных процессов и явлений в геологической среде	Описание процесса	Один раз в год после снеготаяния до активной вегетации
			Скорость развития процесса	
			Площадь поражения	
			Геометрические характеристики	
			Пространственное расположение относительно инженерно-технических сооружений и их частей	
Антропогенная	Промышленные объекты	Комплексная оценка промышленного освоения территории лицензионных участков и состояния компонентов антропогенной среды для предотвращения возникновения техногенных аварий и экологических катастроф	Техническое состояние	Два раза в год: в период максимального оттаивания грунтов (сентябрь) и в период максимального промерзания грунтов (май)
	Хозяйственные объекты		Механическое состояние	
	Инженерно-технические сооружения и сети		Геометрические характеристики	
			Оседание	
	Объекты инженерной защиты		Пространственное положение	

проложен нивелирный ход IV класса, в который были включены грунтовые реперы геотехнической сети, создано съёмочное обоснование для проведения визуально-оптических наблюдений (заложены опознаки).

Визуально-оптические наблюдения выполнялись методами ДЗЗ с помощью БВС мультиспектрального типа Gemini, разработанного российской компанией «Геоскан». Съёмка проводилась на высоте 140 м в автоматическом режиме с разрешением 3 см/пиксель, в соответствии с разработанным в ПО Geoscan Planner полетным заданием (рис. 5).

В процессе геологических наблюдений был выполнен ручной опрос термометрических и гидрологических скважин. Результаты опроса были обработаны в подсистеме обработки.

В подсистеме обработки геодезических наблюдений составлены карточки обследования пунктов ГГС, выполнена обработка ходов геометрического нивелирования в ПО Credo, спутниковые наблюдения обработаны в ПО EFT Post Processing.

В подсистеме обработки данных визуально-оптических наблюдений выполнена фотограмметрическая обработка материалов ДЗЗ в ПО Agisoft Metashape Professional, получены облако точек, цифровая модель рельефа (рис. 6) и ортофотоплан.

Рис. 5 
Полетное задание
Fig. 5
Flight mission plan

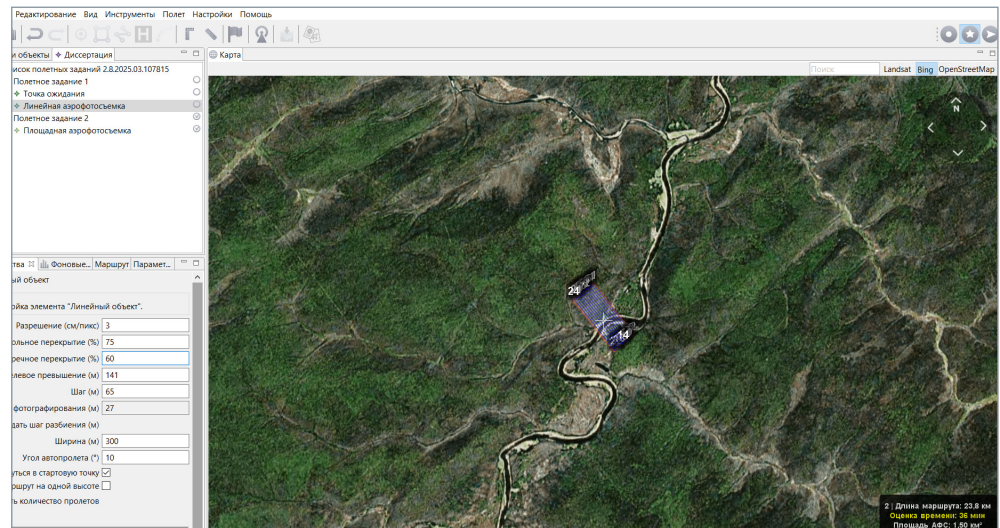
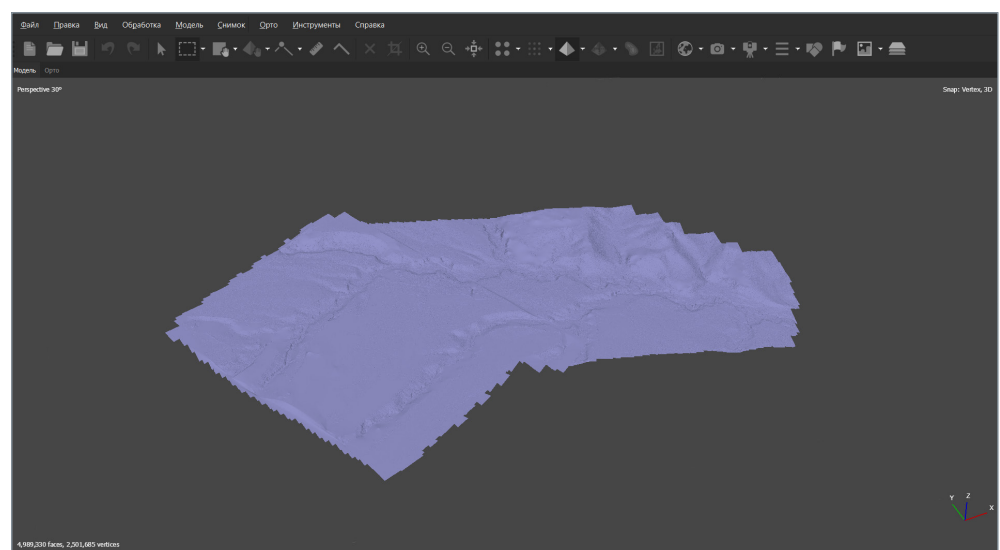


Рис. 6 
Цифровая модель рельефа
Fig. 6
Digital elevation model



При обработке геологических наблюдений определены температуры на интересующих глубинах и уровень грунтовых вод, составлены графики.

При анализе геодезических наблюдений установлено, что пункты ГГС и грунтовые реперы находятся в стабильном состоянии, признаки механических нарушений не обнаружены. Анализ результатов нивелировки деформационных марок на магистральных трубопроводах не показал изменений.

Визуально-оптические наблюдения методом ДЗЗ с применением БВС впервые включены в комплексный мониторинг элементов геотехнической системы на лицензионных участках НГКМ, и полученные цифровая модель рельефа и ортофотоплан будут считаться исходными. Оценка ситуации выполнена исключительно на основании текущих показателей.

В результате анализа цифровых моделей и ортофотоплана было выявлено, что полосы отвода объектов обустройства НГКМ находятся в заросшем состоянии, что осложняет проведение последующих комплексных мониторинговых исследований, а также мероприятий по сервисному обслуживанию объектов инженерного обеспечения и может способствовать возникновению пожаров при аварийной ситуации. Выявлены места несанкционированного складирования промышленных и бытовых отходов и участки незаконных рубок.

Определено пространственное расположение опасных геологических процессов, установлены их точные геометрические характеристики.

Результаты комплексного мониторинга элементов геотехнической системы представлены в табл. 2.

Таблица 2 

Результаты комплексного мониторинга элементов геотехнической системы

Table 2
Integrated monitoring results for geotechnical system components

Показатель	Параметр	Значение, м	Визуализация
Размыв и разрушение элемента инженерной защиты (обваловки)	Протяженность	50	
	Ширина	8–10	
	Глубина	5	
	Удаление от оси трассы трубопровода	1–2	
Склоново-эрозионный процесс, сопровождающийся эрозионным врезом	Протяженность	50	
	Глубина	1	
	Удаленность от трассы линии электропередачи	5–10	
Провал грунта (предположительно карстовая воронка)	Диаметр	≈ 8	
	Глубина	≈ 1,5	
	Удаленность от оси трубопровода	15	

В границах исследуемого земельного участка в процессе непрерывного взаимодействия элементов природной и геологической среды с объектами трубопроводного транспорта возникают техногенные проявления, что приводит к развитию опасных геологических процессов. Текущее состояние и динамика этих процессов являются необходимыми контролируруемыми показателями слежения за состоянием земель для геологических наблюдений в рамках комплексного мониторинга и требуют регулярных наблюдений.

В отношении объекта исследования выполнялись геокриологические и гидрогеологические наблюдения для мониторинга температурных показателей горного пространства и уровня грунтовых вод. Результаты опроса элементов сети термометрических и гидрологических скважин представлены на рис. 7, 8.

Рис. 7 

Результаты опроса элементов сети термометрических скважин

Fig 7
Survey results from thermometric borehole network elements

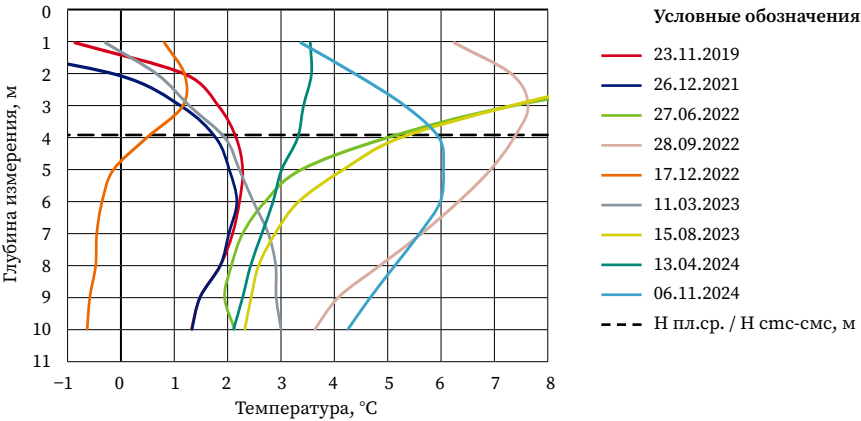
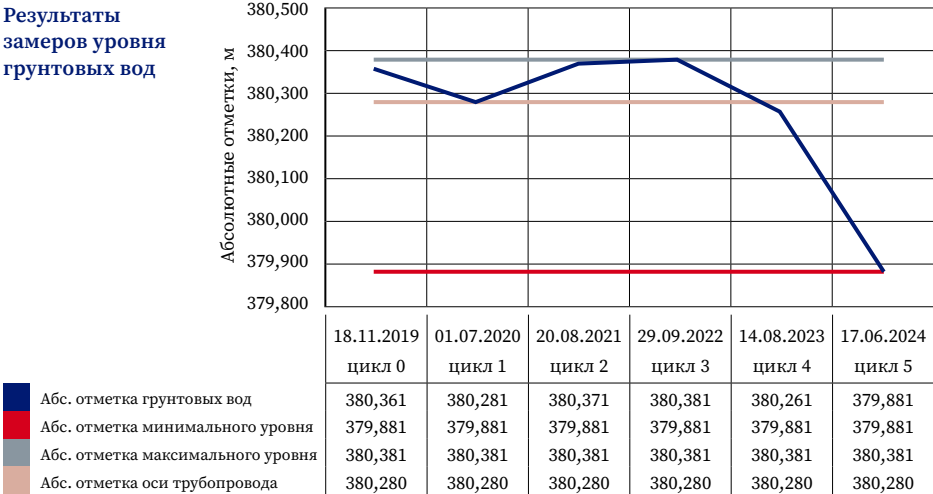


Рис. 8 

Результаты опроса элементов сети гидрологических скважин

Fig. 8
Survey results from hydrological borehole network elements



Анализ графиков термометрических и инженерно-гидрологических наблюдений показал, что фактическая температура грунтов в термометрических скважинах увеличивается каждый год на всех измеряемых глубинах. Уровень грунтовых вод в границах рассматриваемого участка изменяется в интервале от 5,02 до –0,27 м (выше устья гидрологической скважины). Однако геодезические наблюдения деформационных марок показали, что пространственное положение инженерных сооружений не изменилось.

В подсистеме накопления данных была выполнена каталогизация материалов геодезических, визуально-оптических и геологических наблюдений, полученных в подсистеме сбора, а также результатов, полученных в подсистеме обработки, и результатов оценки текущих и абсолютных показателей в подсистеме анализа.

4 Обсуждение

Выполненный комплексный мониторинг, в состав которого включены визуально-оптические наблюдения методом ДЗЗ с использованием БВС, на территории лицензионного участка носит первичный характер. В настоящее время отсутствует регламентирующая нормативно-правовая база и методика проведения комплексного мониторинга элементов геотехнической системы на лицензионных участках НГКМ. Особого нормативно-правового и методического подхода требует использование материалов ДЗЗ, которые на сегодняшний день имеют значительное преимущество с точки зрения скорости получения и достоверности. Применение методов ДЗЗ с БВС и материалов архивных космических съемок при комплексном мониторинге лицензионных участков НГКМ сегодня носит не рекомендательный, а обязательный характер. Однако требования к описанию пространственных данных не упорядочены, что вызывает неудобство их использования надзорными органами, органами исполнительной власти и недропользователями.

Предлагаемая авторами методика позволяет собрать актуальную информацию о текущем состоянии элементов геотехнической системы и динамике их трансформации. Материалы, полученные при визуально-оптических наблюдениях с применением БВС, могут быть использованы для накопления и актуализации данных ДЗЗ с высоким пространственным разрешением в НСПД. Методика обеспечивает стандартизацию процессов сбора данных с необходимой периодичностью, их обработку и хранение при комплексном мониторинге лицензионных участков НГКМ.

Геометрические характеристики опасных геологических процессов и их пространственное положение, определенные по цифровым моделям и ортофотоплану, которые составлены в результате фотограмметрической обработки полученных с помощью БВС Geoscan Gemini данных ДЗЗ, подтверждены наземными геодезическими измерениями с использованием ГНСС-приемников. Это дает повод утверждать, что метод ДЗЗ с применением БВС наиболее эффективен для оперативного получения достоверной цифровой топографической основы с высоким уровнем детализации в целях проведения комплексного геотехнического мониторинга.

5 Выводы

Модель комплексного мониторинга элементов геотехнической системы на лицензионных участках НГКМ обеспечивает целостность выполнения работ и взаимосвязь данных, полученных разными методами инструментальных измерений. Такая модель создает условия для комплексной оценки текущего состояния

элементов геотехнической системы, влияющих на трансформацию земель лицензионных участков НГКМ, и обеспечивает эффективное взаимодействие с заинтересованными сторонами, в том числе недропользователями, органами местного самоуправления и органами, осуществляющими природоохранную деятельность.

Таким образом, комплексный мониторинг на лицензионных участках НГКМ с использованием геопространственных данных, полученных с применением БВС, является важным условием для обеспечения рационального земле- и природопользования, особенно в регионах со сложными природно-климатическими и физико-географическими характеристиками, имеющих низкий уровень транспортной доступности.

библиография

1. Карфидова Е.А., Макеев В.М., Сизов А.П. и др. Методы комплексной оценки геоэкологической ситуации горнопромышленных районов (на примере Соликамского городского округа) // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 2. С. 46–51. DOI:10.18412/1816-0395-2020-2-46-51.
2. Сизов А.П., Черных Е.Г., Меркурьева К.Р. Совершенствование методики тематического дешифрирования космических изображений (на примере репрезентативной территории уровня муниципального образования) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс: сборник материалов в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 4, № 1. С. 26–35. DOI:10.33764/2618-981X-2024-4-1-26-35.
3. Сизов А.П., Черных Е.Г., Щукина В.Н. и др. Интегрирующий показатель оптимальности структуры угодий как критерий для регулирования качества земель // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67, № 3. С. 43–50. DOI:10.30533/GiA-2023-022.
4. Мелкий В.А., Верхотуров А.А. Технология комплексного мониторинга состояния земель и динамики природных процессов в Сахалинской области // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». М.: Издательство Московского университета, 2017. С. 178–194. DOI:10.24057/2414-9179-2017-3-23-178-194.
5. Васютинский И.Ю., Васютинская С.И., Ознамец В.В. Использование методов прикладной статистики в кадастровых обследованиях и оценке развивающихся территорий // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64, № 5. С. 592–595. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-5-592-595.
6. Гилёва Л.Н., Дроздов С.В. Технология мониторинга опасных геологических процессов с применением беспилотных воздушных систем // Устойчивое развитие земельно-имущественного комплекса муниципального образования: землеустроительное, кадастровое и геодезическое сопровождение: сборник научных трудов по материалам VI Национальной научно-практической конференции, Омск, 21–25 ноября 2025 года. Омск: Омский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2025. С. 306–311.
7. Комиссаров А.В. Технология мониторинга защитных сооружений магистральных нефтепроводов методами геодезии и дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 1. С. 65–72. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-1-65-72.
8. Костин П.И. Таксация леса при помощи БПЛА // Вестник науки и образования. 2022. Т. 1-2, № 121. С. 58–60.
9. Гилёва Л.Н., Дроздов С.В. Использование современных технологий при выполнении мониторинговых работ // Актуальные вопросы развития землеустроительной отрасли: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной ученому, землеустроителю, профессору М.А. Сулину (в рамках празднования 120-летия ФГБОУ ВО СПбГАУ). СПб.: СПбГАУ, 2024. С. 9–13.
10. Аникеева И.А., Бабашкин Н.М., Кадничанский С.А. и др. О возможности и эффективности использования беспилотных воздушных судов при выполнении кадастровых работ // Геодезия и картография. 2018. № 8. С. 44–52. DOI:10.22389/0016-7126-2018-938-8-44-52.
11. Курков В.М., Бляхарский Д.П., Флоринский И.В. Применение беспилотной аэрофотосъемки для геоморфометрического моделирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. № 6. С. 69–77.
12. Безменов В.М., Сафин К.И. Исследование точности определения пространственных координат из обработки изображений с беспилотного

- воздушного судна // Геодезия и картография. 2021. № 1. С. 45–55.
DOI:10.22389/0016-7126-2021-967-l-45-55.
13. Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Белова Е.И. и др. Определение породной структуры лесного участка по ортофотопланам беспилотной аэрофотосъемки // Актуальные проблемы современного лесоводства: Вторые Международные чтения памяти Г.Ф. Морозова. Симферополь: Ариал, 2020. С. 141–152.
 14. Мартынова Е.В. Направления формирования и обеспечения качества Национальной системы пространственных данных // Теория и практика общественного развития. 2023. № 4 (182). С. 109–114. DOI:10.24158/tipor.2023.4.14.
 15. Окмянская В.М. Разработка методики мониторинга земель особо охраняемых природных территорий с учетом региональных особенностей на примере Тюменской области: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2024. 158 с.

авторы **Дроздов Сергей Владимирович**

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»
(ОмГАУ), Омск, Россия
кафедра землеустройства, землеустроительный факультет

Гилёва Лариса Николаевна

✉ ln.giljova@omgau.org
ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»
(ОмГАУ), Омск, Россия
кафедра землеустройства, землеустроительный факультет
канд. геогр. наук, доцент
ID 0000-0002-2993-3280

Поступила 09.10.2025. Принята к публикации 20.02.2026. Опубликовано 27.02.2026.



A Model for Integrated Monitoring of Components of Geotechnical Systems within Licensed Areas of Oil, Gas, and Condensate Fields

Sergei V. Drozdov¹✉, Larisa N. Giljova¹

¹ Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia
✉ dsv_55@mail.ru

citation Drozdov SV, Giljova LN. A Model for Integrated Monitoring of Components of Geotechnical Systems within Licensed Areas of Oil, Gas, and Condensate Fields. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(1): 141–156. DOI:10.30533/GiA-2026-009.

keywords monitoring indicator, natural environment, geotechnical system, integrated monitoring model, hazardous geological process, technological facility, geospatial model, man-made impact, oil and gas condensate field

abstract The safe operation and uninterrupted functioning of facilities that organize the technological process of extracting, processing, and transporting hydrocarbon raw materials ensure the energy, environmental, and economic stability of the state. Critical transformations of natural, technogenic, and natural-technogenic components of the environment can lead to disruptions in the operation of production facilities, accidents, and environmental disasters that result in injuries, property damage, and prolonged interruptions in operations. In this regard, there is a need to ensure the conflict-free coexistence of natural environment components with the objects of the technological process of oil and gas production, preserve the resource potential of the natural environment and organize rational environmental management within the boundaries of the licensed areas of hydrocarbon fields. Conflict-free coexistence of natural environment components with the objects of the technological process of oil and gas production is to reduce the level of mutual negative impact and can be achieved through the implementation of comprehensive monitoring of the lands of the licensed areas of hydrocarbon fields. The article describes the methods used for conducting comprehensive monitoring, defines the concept of a geotechnical system, and presents a set of indicators for monitoring its components. The article proposes measures to improve the methodological principles of collecting and processing remote sensing data using unmanned aerial vehicles, taking into account the objectives and specific features of monitoring studies. A model for comprehensive monitoring of a geotechnical system has been developed.

references

1. Karfidova EA, Makeev VM, Sizov AP, et al. Metody kompleksnoi otsenki geoeologicheskoi situatsii gornopromyshlennykh raionov (na primere Solikamskogo gorodskogo okruga) [Methods for Integrated Assessment of the Geoeological Situation in Mining Regions (Case Study: Solikamsk Urban District)]. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(2): 46–51. (In Russian). DOI:10.18412/1816-0395-2020-2-46-51.
2. Sizov AP, Chernykh EG, Merkuryeva KR. Sovershenstvovanie metodiki tematiceskogo deshifrirovaniya kosmicheskikh izobrazhenii (na primere reprezentativnoi territorii urovnya munitsipal'nogo obrazovaniya) [Improvement of the Methodology of Thematic Decoding of Space Images on the Example of a Representative Territory]. *Interexpo GEO-Sibir. Proceedings of the XX International Scientific Congress*. In 8 vols. Vol. 4. Part 1. Novosibirsk: SSUGT; 2024: 26–35. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2024-4-1-26-35.
3. Sizov AP, Chernykh EG, Shchukina VN, et al. Integriruyushchii pokazatel' optimal'nosti struktury ugodii kak kriterii dlya regulirovaniya kachestva zemel' [An Integrated Indicator of Land-Use Structure Optimality as a Criterion for Land Quality Regulation]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;67(3): 43–50. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-022.
4. Melkiy VA, Verkhoturov AA. Tekhnologiya kompleksnogo monitoringa sostoyaniya zemel' i dinamiki prirodnykh protsessov v Sakhalinskoj oblasti [Technology of Comprehensive Monitoring of Land Condition and Dynamics of Natural Processes in the Sakhalin Region]. *Proceedings of the International Conference "InterCarto. InterGIS"*. Moscow: Moscow University Press; 2017: 178–194. (In Russian). DOI:10.24057/2414-9179-2017-3-23-178-194.
5. Vasyutinsky IY, Vasyutinskaya SI, Oznamets VV. Ispol'zovanie metodov prikladnoi statistiki v kadastrykh obsledovaniyakh i otsenke razvivayushchikhsya territorii [Application of Applied Statistics in Cadastral Surveys and Assessment of Developing Territories]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;64(5): 592–595. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-5-592-595.
6. Gileva LN, Drozdov SV. Tekhnologiya monitoringa opasnykh geologicheskikh protsessov s primeneniem bespilotnykh vozdukhnykh sistem [Technology of Monitoring Dangerous Geological Processes Using Unmanned Aerial Systems]. *Sustainable Development of the Land and Property Complex of a Municipal Formation: Land Management, Cadastral, and Geodetic Support: Proceedings of the 6th National Scientific and Practical Conference, Omsk, November 21–25, 2025*. Omsk: Omsk SAU named after P.A. Stolypin, 2025: 306–311. (In Russian).
7. Komissarov AV. Tekhnologiya monitoringa zashchitnykh sooruzhenii magistral'nykh nefteprovodov metodami geodezii i distantsionnogo zondirovaniya [Monitoring Technology for Main Oil Pipeline Protective Structures Using Geodetic and Remote Sensing Methods]. *Vestnik SSUGT*. 2024;29(1): 65–72. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-1-65-72.
8. Kostin PI. Taksatsiya lesa pri pomoshchi BPLA [Forest Inventory Using UAVs]. *Vestnik Nauki i Obrazovaniya*. 2022;1-2(121): 58–60. (In Russian).
9. Gileva LN, Drozdov SV. Ispol'zovanie sovremennykh tekhnologii pri vypolnenii monitoringovykh rabot [The Use of Modern Technologies in the Performance of Monitoring Work]. *Actual Issues of the Development of the Land Management Industry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Scientist, Land Surveyor, Professor M.A. Sulin (as Part of the Celebration of the 120th Anniversary of the Saint Petersburg SAU)*. Saint Petersburg: Saint Petersburg SAU; 2024: 9–13. (In Russian).
10. Anikeeva IA, Babashkin NM, Kadnichansky SA, et al. O vozmozhnosti i effektivnosti ispol'zovaniya bespilotnykh vozdukhnykh sudov pri vypolnenii kadastrykh rabot [Feasibility and Efficiency of Using Unmanned Aerial Vehicles in Cadastral Surveys]. *Geodesy and Cartography*. 2018;8: 44–52. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2018-938-8-44-52.
11. Kurkov VM, Blyakharsky DP, Florinsky IV. Primenenie bespilotnoi aerofotos'emki dlya geomorfometricheskogo modelirovaniya [Application of UAV-Based Aerial Photogrammetry for Geomorphometric Modeling]. *Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography*. 2016;6: 69–77. (In Russian).
12. Bezmenov VM, Safin KI. Issledovanie tochnosti opredeleniya prostranstvennykh koordinat iz obrabotki izobrazhenii s bespilotnogo vozdukhnoho sudna [Accuracy

- Assessment of Spatial Coordinate Determination from UAV Imagery Processing]. *Geodesy and Cartography*. 2021;1: 45–55. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2021-967-l-45-55.
13. Ershov DV, Gavriluk EA, Belova EI, et al. Opredelenie porodnoi struktury lesnogo uchastka po ortofotoplanam bespilotnoi aerofotos"emki [Determination of Forest Stand Composition Using UAV Orthophotomaps]. In *Current Issues in Modern Forestry: Second International Morozov Readings*. Simferopol: Arial; 2020: 141–152. (In Russian).
 14. Martynova EV. Napravleniya formirovaniya i obespecheniya kachestva Natsional'noi sistemy prostranstvennykh dannyykh [Directions for Establishing and Ensuring the Quality of the National Spatial Data Infrastructure]. *Theory and Practice of Social Development*. 2023;4(182): 109–114. (In Russian). DOI:10.24158/tipor.2023.4.14.
 15. Okmyanskaya VM. Razrabotka metodiki monitoringa zemel' osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii s uchetom regional'nykh osobennostei na primere Tyumenskoi oblasti [Development of a Methodology for Monitoring Lands of Specially Protected Natural Territories Accounting for Regional Specifics (Case Study: Tyumen Oblast)] [dissertation]. Moscow; 2024. 158 p.

authors **Sergei V. Drozdov**

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia
Department of Land Management, Faculty of Land Management

Larisa N. Giljova

✉ ln.giljova@omgau.org

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia
Department of Land Management, Faculty of Land Management
PhD in Geography, Associate Professor

🆔 0000-0002-2993-3280

Submitted: October 09, 2025. Accepted: February 20, 2026. Published: February 27, 2026.