

Идирисов Айбек Жаксыбаевич

магистрант, направление подготовки 09.04.01, Московский авиационный институт (национально исследовательский университет),

РФ, г. Москва

Жуматаева Жанат Есиркеповна

научный руководитель,

канд. техн. наук, доцент кафедры Б21

Филиал «Восход» Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ КОСМОДРОМОВ И ПРОБЛЕМЫ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДИК

Аннотация. В работе рассмотрены современные подходы к экологическому мониторингу космодромов на примере Байконура. Выявлены основные недостатки традиционных методик, включая запаздывание данных, разрозненность источников и отсутствие возможностей для оперативной оценки обстановки. Рассматриваются перспективные направления цифровизации мониторинга, включая автоматизированный сбор и интеграцию данных, использование ГИС-технологий и моделей распространения загрязнений. Обоснована необходимость перехода к комплексной информационной системе, обеспечивающей прогнозирование экологических рисков и повышение эффективности управления экологической безопасностью космодрома.

Abstract. The study examines modern approaches to environmental monitoring of spaceports using the Baikonur Cosmodrome as an example. The main shortcomings of traditional methods are identified, including data delays, fragmented information sources, and the lack of tools for rapid environmental assessment. The work discusses promising directions for monitoring digitalization, including automated data collection and integration, the use of GIS technologies, and pollutant dispersion models. The

necessity of transitioning to an integrated information system capable of forecasting environmental risks and improving the efficiency of environmental safety management at the cosmodrome is substantiated.

Ключевые слова: экологический мониторинг, Байконур, экологическая безопасность, ГИС, токсичные вещества, модели распространения загрязнений, автоматизация.

Keywords: environmental monitoring, Baikonur, environmental safety, GIS, toxic substances, pollution dispersion models, automation.

Ракетно-космическая деятельность сопровождается значительным воздействием на окружающую среду. На Байконуре это проявляется в выбросах продуктов сгорания топлива, падении ступеней и потенциальном загрязнении почвы, воды и атмосферы. Опасность представляют токсичные компоненты топлива, включая вещества I класса опасности [6].

Для оценки последствий пусков применяются регулярные наблюдения, отбор проб и технические обследования районов падения ступеней. Результаты используются для составления карт техногенных нарушений и планирования мероприятий по восстановлению экосистем [5,8].

Однако традиционные методы требуют значительных ресурсов: выполняются вручную и характеризуются низкой оперативностью. Параллельно растёт объём разнотипных экологических данных, что делает необходимым внедрение современных подходов к автоматизации мониторинга [6,7].

Такой подход позволит не только фиксировать последствия запусков постфактум, но и прогнозировать возможные риски, обеспечивая упреждающее принятие мер для защиты окружающей среды.

Аналогичные системы экологического мониторинга разрабатывались и для других космодромов. Например, для Плесецка предлагаются комплексы автоматизированного контроля загрязнения атмосферы и почв [8]. В ряде исследований рассматривается применение ГИС-платформ для анализа районов

падения ступеней и прогнозирования распространения токсичных веществ [7,9]. Модели атмосферной дисперсии также активно используются при оценке воздействия ракетных запусков в исследованиях российских и зарубежных авторов.

Существующая система мониторинга Байконура реализуется в сотрудничестве российских и казахстанских специалистов и включает ежегодную подготовку сводных отчётов о состоянии окружающей среды [5,10]. Для пространственного анализа активно применяются ГИС-технологии: электронные карты используются для отображения точек падения ступеней, маршрутов экспедиций и выявленных зон загрязнений [5].

Вопросы применения ГИС, моделирования распространения загрязнений и интеграции экологических данных активно обсуждаются на научных конференциях «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» [7], «Экология. Наука. Техника» [9], «Аэрокосмос» [10], что подтверждает актуальность выбранного направления.

Традиционная схема мониторинга включает экспедиционное обследование, отбор проб почвы, воды и растительности, последующий лабораторный анализ и ручную обработку данных. На каждом этапе возникают временные задержки, что снижает оперативность получения информации о фактическом состоянии среды.

Несмотря на точность лабораторных измерений, такая система трудоёмка и ограничена по скорости. Многие показатели, включая токсичные компоненты, становятся известны только через несколько дней, что затрудняет принятие быстрых мер при аварийных ситуациях [5] (рис. 1).

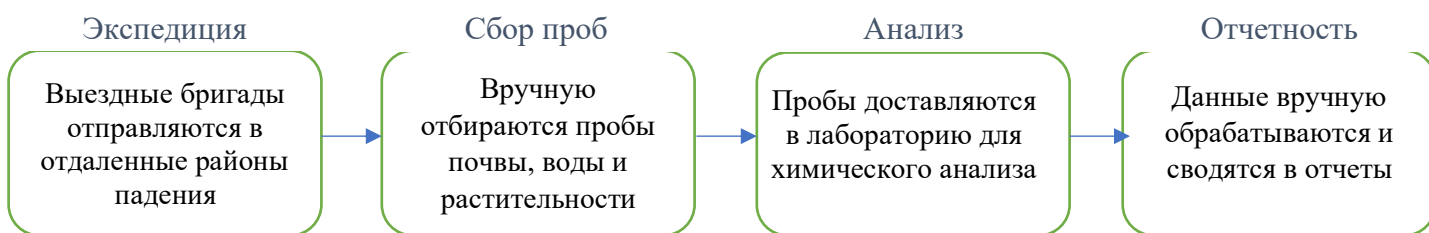


Рисунок 1 – Схема традиционного процесса

Эти методы при всех своих достоинствах – точности лабораторных данных и соответствии нормативным требованиям – в целом многоступенны и слабо автоматизированы. В результате процесс получения информации о состоянии среды занимает значительное время: например, на анализ проб на наличие гептила требуется несколько дней, и всё это время точное состояние загрязнения остаётся неизвестным. В то же время результаты мониторинга используются для составления карт техногенных нарушений и планирования реабилитационных мероприятий, однако фактическая оперативность получения данных при этом невысока. В практике также фиксируется, что традиционный подход во многом реактивен: большинство параметров (траектория и место падения ступени, факт взрыва) фиксируются лишь после события, тогда как химические показатели обычно поступают с заметной задержкой [5]. Таким образом, существующая система экологического мониторинга Байконура опирается на регулярные исследования и оценку последствий запуска «по факту» и обеспечивает высокую точность результатов. Однако наметилась тенденция перехода к автоматизации и цифровизации процессов сбора и обработки данных для повышения оперативности и аналитических возможностей системы.

Традиционные методы экологического мониторинга космодрома характеризуются рядом существенных ограничений. Прежде всего, они обеспечивают низкую оперативность: значительная часть экологических данных, особенно связанных с химическим загрязнением, поступает с заметной задержкой. Например, анализ проб на содержание гептила занимает несколько дней, в течение которых фактическое состояние среды остаётся неизвестным, что делает невозможной быструю оценку ущерба при аварийных ситуациях. Дополнительной проблемой выступает разрозненность и несистематизированность информации, поскольку экологические сведения традиционно накапливаются в виде отдельных отчётов и таблиц, распределённых между различными подразделениями [5]. Отсутствие единой базы данных затрудняет сопоставление материалов за разные годы, ограничивает возможность анализа долгосрочных трендов, таких как

накопление тяжёлых металлов в почве, и препятствует комплексной оценке состояния среды. Мониторинг остаётся преимущественно реактивным: он фиксирует последствия запусков или аварий, тогда как данные о химическом и радиационном загрязнении поступают лишь спустя часы или даже дни, что исключает полноценный контроль в реальном времени. Наконец, традиционный подход крайне трудоёмок. Большие массивы разнородной информации – результаты анализов, измерения и отчёты за десятилетия – сложно обрабатывать вручную, из-за чего часть потенциально ценных данных остаётся неиспользованной, а ограниченные возможности ручной обработки препятствуют оперативному выявлению аномалий и долгосрочных тенденций [7].

Эти проблемы указывают на недостаточную эффективность традиционной методики: медленные временные задержки, разрозненность и ручная обработка данных, а также отсутствие гибких аналитических инструментов делают мониторинг Байконура менее прогнозируемым и более трудоёмким.

Современная практика экологического мониторинга космодромов всё ещё в значительной степени опирается на традиционные методики — экспедиционные выезды, лабораторный анализ проб и ручную обработку данных. Однако накопленные проблемы (разрозненность данных, отсутствие прогноза, длительные задержки получения информации) требуют перехода к цифровизации.

Одним из направлений модернизации является создание централизованного хранилища экологических данных, обеспечивающего сбор, хранение и обработку информации из различных источников. Такое решение позволит устранить разрозненность данных, объединить результаты измерений, отчёты и архивные сведения, а также сформировать единое информационное пространство для дальнейшего анализа.

Подобная архитектура ещё не используется в действующей системе мониторинга Байконура, но её внедрение описано как перспективное направление.

В традиционной системе оценка последствий пусков проводится после факта, на основе отобранных проб [3,4].

С учётом ограничений традиционных методик и потенциала современных цифровых инструментов переход к автоматизированной системе мониторинга представляет собой важный шаг для повышения экологической безопасности космодромов, включая Байконур.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 7.0.5–2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.

2. Елифанов И. К., Кондратьев А. Д., Королева Т. В., Черницова О. В., Кречетов П. П. Структура и задачи экологического мониторинга ракетно-космической деятельности // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. №26. – С. 32-38.

3. Экологическое обеспечение ракетно-космической деятельности / Роскосмос. – URL: <https://www.russian.space/puskovye-uslugi/poligonnyu-tsiki/servisnye-uslugi/ekologicheskoe-obespechenie/> (дата обращения: 24.11.2025).

4. Метеорологический комплекс для космодромов / Rareearth.ru (научно-техническое издание). – URL: <https://rareearth.ru/ru/news/20160413/02092.html> (дата обращения: 24.11.2025).

5. Единая государственная система мониторинга окружающей среды: статья 152 Экологического кодекса Республики Казахстан. – URL: https://kodeksy-kz.com/ka/ekologicheskij_kodeks/152.htm (дата обращения: 24.11.2025).

6. Казаков Р.Р., Мингалиев Э.Р. Анализ способов улучшения экологических характеристик ракет-носителей // Труды МАИ. 2015. № 79. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=55798> (дата обращения: 24.11.2025).

7. Шматков Г.А. Применение ГИС-технологий при мониторинге районов падения ступеней ракет-носителей // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2021. – №4. – С. 85–92. (дата обращения: 24.11.2025).

8. Шевченко В.В., Попов А.В. Комплексы экологического мониторинга космодрома Плесецк // Вестник Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2020. – №3. (дата обращения: 24.11.2025).

9. Абдрахманов Т., Имангалиев С. ГИС-анализ техногенной нагрузки в районах падения ступеней ракет // Экология. Наука. Техника: материалы конференции. – 2022. – С. 112–118. (дата обращения: 24.11.2025).

10. Седых М.Д. Аэрокосмический мониторинг в оценке последствий ракетных запусков // Материалы конференции «Аэрокосмос-2023». – Томск, 2023.