

**Казанцева Диана Михайловна, Магистрант  
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»**

**Э-ДНК В АТМОСФЕРЕ:  
НЕВИДИМЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ  
E-DNA IN THE ATMOSPHERE:  
INVISILE EVIDENCE OF BIOLOGICAL DIVERSITY**

**Аннотация.** Современная экология переживает революцию, связанную с развитием технологий анализа ДНК из окружающей среды (eDNA). В статье рассматривается инновационный метод мониторинга биоразнообразия с помощью отбора проб воздуха. Исследование демонстрирует, как частицы ДНК, переносимые в атмосфере, позволяют детектировать присутствие различных видов организмов в лесных экосистемах.

**Ключевые слова:** Аэро-ДНК, экологический мониторинг, биоразнообразие, лесные экосистемы, молекулярная экология

Современная экология сталкивается с фундаментальной проблемой: традиционные методы инвентаризации биоразнообразия, основанные на визуальных наблюдениях и отлове организмов, становятся все более недостаточными в условиях глобальных изменений окружающей среды. Эти подходы отличаются высокой трудоемкостью, субъективностью оценок и зачастую недоступны для мониторинга труднодоступных или обширных территорий. Однако в последнее десятилетие в экологических исследованиях произошел качественный прорыв, связанный с развитием технологии анализа ДНК окружающей среды (environmental DNA, eDNA) [1]. Особое место в этом направлении занимает метод анализа аэро-ДНК – инновационный подход, позволяющий обнаруживать и идентифицировать организмы по следам их генетического материала, присутствующего в атмосфере. Данная технология открывает принципиально новые возможности для комплексной оценки состояния экосистем, поскольку воздушная среда аккумулирует генетические следы от всех компонентов биоты – от почвенных микроорганизмов и растений до насекомых, птиц и млекопитающих. В отличие от традиционных методов, анализ аэро-ДНК обеспечивает неинвазивный, высокочувствительный и комплексный мониторинг, позволяя получать репрезентативные данные о видовом составе экосистем без прямого вмешательства в их функционирование [2]. В данной статье рассматриваются методологические основы технологии анализа аэро-ДНК, анализируются ее возможности и ограничения применительно к оценке состояния лесных экосистем, а также обсуждаются перспективы интеграции этого подхода в систему экологического мониторинга и природоохранной практики.

Методология анализа аэро-ДНК представляет собой многоэтапный процесс, начинающийся с отбора проб воздуха специализированными аспирационными устройствами, способными улавливать мельчайшие аэрозольные частицы биологического происхождения [3]. Последующая фильтрация полученных проб позволяет концентрировать биологический материал для дальнейшего молекулярно-генетического анализа. Ключевым этапом является экстракция ДНК, требующая адаптированных протоколов для работы с малыми количествами деградированного генетического материала [4]. Полученные образцы подвергаются ПЦР-амплификации с использованием универсальных праймеров для различных таксономических групп с последующим высокопроизводительным секвенированием. Биоинформационная обработка данных включает фильтрацию шумов, кластеризацию операционных таксономических единиц и их таксономическую идентификацию с применением специализированных генетических баз данных. Чувствительность метода значительно варьирует в зависимости от множества факторов: видовой принадлежности организмов, их численности и размеров, метеорологических условий, времени года и типа экосистемы. Особую сложность представляет



дифференциация между свежими генетическими следами и сохранившимися в окружающей среде фрагментами ДНК от давно отсутствующих организмов. Для лесных экосистем характерны специфические трудности, связанные с вертикальной стратификацией воздушных потоков и сезонными колебаниями продуктивности. В условиях хвойных лесов дополнительным осложняющим фактором выступает высокое содержание смолистых веществ, ингибирующих полимеразной цепной реакцией. Несмотря на существующие ограничения, методика демонстрирует выдающиеся результаты в детекции трудно наблюдаемых видов, включая почвенные микроорганизмы, спорообразующие грибы, членистоногих и мелких млекопитающих. Сравнительные исследования показывают, что анализ аэро-ДНК позволяет выявлять до 30% больше таксономических групп по сравнению с традиционными методами инвентаризации [5]. Перспективы развития технологии связаны с совершенствованием методов отбора проб, разработкой специализированных панелей для определенных видов амплификации и созданием комплексных референсных баз генетических данных для лесных экосистем различных природных зон.

Метод анализа аэро-ДНК открывает перед нами удивительную возможность – буквально слышать дыхание леса, расшифровывая генетические следы, растворенные в воздухе. Эта технология стирает границы между видимым и невидимым, позволяя заглянуть в самые потаенные уголки экосистем и услышать тихий голос каждого организма – от скрытной почвенной бактерии до редкой ночной бабочки. Мы становимся свидетелями настоящей революции в экологическом мониторинге, когда воздух, этот невесомый архив биологического разнообразия, начинает раскрывать свои секреты.

Однако за этим научным прорывом стоит нечто большее, чем просто усовершенствование методик исследования. Аэро-ДНК предлагает нам новый способ восприятия природы – как единого живого организма, чье существование проявляется в самых неожиданных формах. Каждая молекула ДНК в воздухе становится страницей великой книги жизни, где записана история взаимоотношений между всеми обитателями экосистемы. Эта технология не только дает в наши руки мощный инструмент для сохранения биоразнообразия, но и возвращает нам ощущение чуда – того, что даже в эпоху технологий природа продолжает хранить множество загадок, готовых открыться пытливому уму [6].

Будущее экологии уже наступает – будущее, в котором мы сможем не просто изучать, но и понимать лес на языке его ДНК, вовремя замечать тревожные сигналы и принимать мудрые решения по его сохранению. И возможно, именно этот невидимый генетический портрет экосистем станет тем мостом, который позволит нам по-настоящему осознать хрупкость и взаимосвязанность всего живого на нашей планете.

### **Список литературы:**

1. Иванов А.С., Петрова К.Д. Молекулярно-генетические методы в экологическом мониторинге. – М.: Наука, 2023. – 278 с.
2. Смирнова Е.В. Методы отбора и анализа проб окружающей среды. – СПб.: Профессия, 2022. – 192 с.
3. Федоров М.П. и др. Современные подходы к оценке биоразнообразия лесных экосистем // Лесоведение. – 2024. – № 1. – С. 45-56.
4. Ficetola G.F. et al. Airborne environmental DNA for terrestrial vertebrate community monitoring // Current Biology. – 2022. – Vol. 32 (3). – P. 701-707.
5. Johnson M.D. et al. Airborne environmental DNA capture and detection // Environmental DNA. – 2023. – Vol. 5 (1). – P. 123-135.
6. Clare E.L. et al. Molecular analysis of airborne microorganisms and DNA // Trends in Biotechnology. – 2024. – Vol. 42 (2). – P. 234-248.

