

В. А. Хамедов¹✉

Концептуальные основы цифровой трансформации экологического образования в университете

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: v.a.khamedov@sgugit.ru

Аннотация: В статье рассматриваются возможности интеграции методов цифровизации и машинного обучения в экологическое образование Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ). Анализируются ключевые технологии: геоинформационные системы (ГИС), интернет вещей (IoT), виртуальная и дополненная реальность (VR/AR), 3D-моделирование и машинное обучение. Внимание уделяется трём педагогическим сдвигам: переходу от пассивного запоминания к активному анализу, от статичного описания природы к динамическому экспериментированию с цифровыми двойниками экосистем, от интерпретации карт к моделированию последствий антропогенных воздействий. Рассмотрены практические сценарии применения: интеллектуальный мониторинг качества среды, компьютерное зрение для идентификации видов, прогностическое моделирование экологических рисков. Показано, что интеграция цифровых инструментов формирует у студентов междисциплинарные компетенции (программирование, анализ Big Data, работа с реальными экосистемами), востребованные на рынке труда.

Ключевые слова: цифровизация, машинное обучение, экологическое образование, ГИС, IoT, цифровые двойники

V.A. Khamedov¹✉

Conceptual foundations for the digital transformation of environmental education at the university

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: v.a.khamedov@sgugit.ru

Abstract: This article examines the potential for integrating digitalization and machine learning into environmental education at the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT). Key technologies are analyzed: geographic information systems (GIS), the Internet of Things (IoT), virtual and augmented reality (VR/AR), 3D modeling, and machine learning. Attention is paid to three pedagogical shifts: the transition from passive memorization to active analysis, from static descriptions of nature to dynamic experimentation with digital twins of ecosystems, and from map interpretation to modeling the consequences of anthropogenic impacts. Practical application scenarios are considered: intelligent monitoring of environmental quality, computer vision for species identification, and predictive modeling of environmental risks. It is shown that the integration of digital tools develops interdisciplinary competencies in students (programming, Big Data analysis, working with real ecosystems), which are in demand in the labor market.

Keywords: digitalization, machine learning, environmental education, GIS, IoT, digital twins

Экологическое образование исторически опиралось на фундамент знаний о принципах функционирования природных систем, биоразнообразии и

антропогенных воздействиях. Однако глобальные вызовы XXI века, такие как изменение климата, деградация экосистем и утраты биологического разнообразия, требуют от молодых специалистов не просто теоретических знаний, а практических компетенций по работе с большими данными (Big Data), моделированию и принятию решений в условиях неопределенности. В этом контексте цифровизация и применение методов машинного обучения становятся не просто дополнительными инструментами, а необходимым условием для трансформации экологического образования из теоретической дисциплины в практико-ориентированную науку о данных. Анализ мировых тенденций и конкретных технологических возможностей позволяет выделить три ключевых педагогических (парадигмальных) сдвига, лежащих в основе этой трансформации [1]. Первый сдвиг – это переход от пассивного запоминания готовых фактов к активному анализу, интерпретации и, что особенно важно, предсказанию экологических процессов. Второй фундаментальный сдвиг заключается в переходе от статичного описания природы к динамическому экспериментированию с экосистемами в безопасной цифровой среде. Третий сдвиг связан с изменением подхода к визуализации и интерпретации информации. Эти сдвиги напрямую влияют на развитие у студентов междисциплинарных навыков, которые высоко ценятся на рынке труда. Экологический образовательный процесс, интегрированный с цифровыми технологиями, естественным образом объединяет разные дисциплины: экологию, географию, геоинформатику, информатику и др. [2]. Студенты-экологи получают базовые навыки программирования на языке Python, учатся работать с базами данных, применять алгоритмы машинного обучения и создавать интерактивные визуализации.

Применение геоинформационных систем и дистанционного зондирования Земли в обучении

Геоинформационные системы (ГИС) и технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются фундаментом для цифровой трансформации экологического образования, предоставляя мощный инструментарий для анализа, визуализации и моделирования пространственных процессов. Современные облачные сервисы, например, Google Earth Engine (GEE) и BEGA-Science позволяют обучающимся университета решать различные экологические задачи локального, регионального, национального и глобального масштабов, связанные с мониторингом и прогнозированием состояния компонент природной среды с использованием отечественных и зарубежных данных ДЗЗ. Образовательные курсы, посвященные таким сервисам, уже разработаны в университете [3] и показывают свою эффективность в подготовке специалистов, способных работать с геопространственными данными в реальных проектах. Современный ГИС-подход в образовании должен выходить за рамки простого использования готовых инструментов и включать в себя обучение студентов самостоятельному построению аналитических и прогнозных моделей, что полностью соответствует целям цифровой трансформации [4, 5]. Интеграция BEGA-Science и GEE в учебные программы СГУГиТ позволяет студентам не только освоить современный

профессиональный инструмент ГИС, но и самостоятельно проводить масштабные экологические исследования, используя данные о состоянии окружающей среды.

Интеллектуальный мониторинг окружающей среды с использованием интернета вещей и облачных платформ

Интернет вещей (IoT) представляет собой еще одно направление цифровой трансформации экологического образования, которое позволяет переходить от анализа исторических данных к сбору и анализу данных в режиме реального времени. Идея заключается в создании сетей небольших и недорогих датчиков, способных измерять различные параметры окружающей среды (температура, влажность, давление, качество воздуха, уровень шума, радиация) и передавать эти данные в облако для обработки и анализа [6]. Для университета это открывает уникальные возможности при организации студенческих исследовательских проектов, направленных на мониторинг микроклимата и качества среды непосредственно на территории университетского кампуса или на территории полигона. Такие проекты не только предоставляют студентам практический опыт в области сбора и анализа данных, но и способствуют повышению экологической осведомленности в сообществе.

Технологии беспроводных сенсорных сетей являются основой для создания таких систем. В частности, технологии LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) привлекают внимание благодаря своей способности обеспечивать передачу данных на большие расстояния (до нескольких километров) с минимальным энергопотреблением, что идеально подходит для развертывания сетей в городских и природных условиях [7]. В СГУГиТ можно организовать проект по развертыванию прототипной сети LoRaWAN для мониторинга температуры и влажности в различных зонах кампуса, сравнивая показатели вблизи корпусов университета и на существующем полигоне. Сбор и последующая визуализация полученной информации в виде графиков может осуществляться с использованием специализированных облачных платформ ThingSpeak или Adafruit IO, предназначенных для IoT-приложений [8].

Последующая интеграция IoT-систем с моделями машинного обучения позволяет осуществлять анализ полученной информации для выявления существующих закономерностей или аномалий. Такие проекты развивают у обучающихся комплексные навыки работы с облачными сервисами и большими объемами данных. При этом совместная работа с другими университетами, например, Московским государственным техническим университетом им. Н.Э. Баумана [9], может привести к реализации крупных межвузовских проектов.

Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в экологических исследованиях

Технологии виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR) позволяют изменить существующие подходы в преподавании и исследовательской деятельности в области экологии. Моделируя окружающую среду с использованием

виртуальной и дополненной реальности возможно создание интерактивной и безопасной среды для обучения, не имеющей ограничения традиционных полевых практик [10].

Основным преимуществом технологии VR является возможность «погружения» пользователя в виртуальную среду. Студенты СГУГиТ, находясь в аудитории, могут совершить виртуальную экспедицию на удаленные территории многолетней мерзлоты, исследовать Васюганские болота или наблюдать за последствиями лесных пожаров в Сибири. Для университета это открывает возможность создавать собственные VR-контенты, основанные на реальных данных, собранных с помощью дронов или на основе существующих геопространственных моделей. Например, можно создать VR-экскурсию по уникальным объектам российского Арктического региона, что невозможно сделать в рамках стандартного учебного плана из-за высокой стоимости и логистической сложности.

Дополненная реальность, в свою очередь, работает по-другому: она не заменяет реальный мир, а обогащает его, накладывая на него цифровые элементы. Это открывает широкие возможности для визуализации невидимых для человеческого глаза процессов. Например, с помощью AR-приложения на смартфоне или планшете студент может «увидеть» сквозь поверхность Земли переток подземных вод, визуализировать атмосферное загрязнение или проследить пути миграции животных. Одним из самых успешных применений AR в геонауках стали AR-сандасты – интерактивные столы, где движение песка моделируется в реальном времени, а система проецирует на его поверхность контуры рельефа, уровни воды и другие геологические явления [11].

Технологии виртуальной и дополненной реальности находят применение при создании тематических симуляторов и цифровых двойников [12]. Примеры реализованных в СГУГиТ проектов представлены в [13, 14].

Этапы цифровой трансформации экологического образования в университете

Благодаря своему техническому профилю, а также наличию научной инфраструктуры в регионе, университет обладает всеми необходимыми условиями для интеграции передовых технологий в учебный процесс. Вместо того чтобы рассматривать ГИС, IoT, VR/AR и машинное обучение как отдельные инструменты, стратегический подход должен заключаться в их глубокой интеграции для создания целостных, практико-ориентированных образовательных модулей. Это позволит реализовать три ключевых педагогических сдвига: от пассивного запоминания к активному анализу, от статичного описания к динамическому экспериментированию и от интерпретации карт к моделированию последствий.

Первым шагом должна стать разработка и внедрение междисциплинарных учебных программ и модулей. Например, можно создать специализацию «Цифровая экология» или включить в существующие программы (экология, география, информатика) обязательные курсы по Data Science для экологов. Такой курс должен охватывать весь цикл работы с данными: от сбора (с помощью IoT-

датчиков) и обработки (в Python и ГИС) до анализа (с помощью ML-алгоритмов) и визуализации (в 3D-ГИС или VR-симуляторах). Это превратит университет в центр подготовки молодых специалистов, обладающих уникальным набором компетенций, востребованных в академической среде, в бизнесе и государственном секторе. Студенты, освоившие такие технологии, смогут создавать портфолио проектов, которые будут служить им визитной карточкой на рынке труда [15].

На втором этапе возможна реализация проектов, направленных на решение экологических проблем региона с использованием цифровых методов. Например, подобный проект по созданию «цифровых двойников» особо охраняемых природных территорий Новосибирской области с использованием спутниковых снимков, методов машинного обучения и IoT-датчиков может быть реализован для оценки предельно допустимой рекреационной емкости территорий при осуществлении на них туристической деятельности. Результаты такого проекта могут найти практическое применение в Министерстве природных ресурсов и экологии Новосибирской области при осуществлении им своих полномочий.

Третьим этапом является развитие в университете иммерсивных образовательных сред [16]. С использованием VR/AR-практик возможно изучение и визуализация различных, в том числе скрытых, процессов на труднодоступных и удаленных территориях Западной Сибири, например, развитие термокарстовых процессов или эмиссии парниковых газов.

Реализация подобных проектов и создание новой, «цифровой» среды экологического образования позволит университету занять лидирующие позиции в области цифровых технологий в науках о Земле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lopez-Meneses, E. Harnessing Intelligent GISs for Educational Innovation: A Bibliometric Analysis of Real-Time Data Models / E. Lopez-Meneses, I.-M. Palomero-Ilardia, N. Pelicano-Piris, M.-B. Morales-Cevallos // *Educ. Sci.* – 2025. – Vol. 15, № 8. – Art. 976. – DOI: 10.3390/educsci15080976.
2. Wang, C. Digital Earth Education / C. Wang, C.M. Kantor, J.T. Mitchell, T.S. Bacastow // *Manual of Digital Earth* / ed. by H. Guo, M.F. Goodchild, A. Annoni. – Singapore: Springer, 2020. – P. 24. – DOI: 10.1007/978-981-32-9915-3_24.
3. Хамедов, В. А. Обработка аэрокосмической информации : учеб.-метод. пособие / В. А. Хамедов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 85 с.
4. Гаирбекова, П. И. Актуальные проблемы цифровизации образования в России / П. И. Гаирбекова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2021. – № 2. – С. 65. – DOI: 10.17513/spno.30673.
5. Король, А. Д. Цифровая трансформация образования и вызовы XXI века / А. Д. Король, Ю. И. Воротницкий // *Высшее образование в России*. – 2022. – Т. 31, № 6. – С. 48–61. – DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-6-48-61.
6. Ting, Y.-T. Optimising performances of LoRa based IoT enabled wireless sensor network for smart agriculture / Y.-T. Ting, K.-Y. Chan // *Journal of Agriculture and Food Research*. – 2024. – Vol. 16. – Art. 101093. – ISSN 2666-1543. – DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101093.
7. Zhao, H. A LoRaWAN-based environmental sensing network for urban green space monitoring with demonstrated application for stormwater management / H. Zhao, K.A. Kam, I. Kymissis,

- B.J. Mailloux, P.J. Culligan // *Sustainable Cities and Society*. – 2024. – Vol. 115. – Art. 105852. – ISSN 2210-6707. – DOI: 10.1016/j.scs.2024.105852.
8. Addow, M.A. A low-cost IoT-based smart home automation system for urban sustainability in Mogadishu, Somalia / M.A. Addow, A.D. Jimale, A.Y. Nageye [et al.] // *Discov Internet Things*. – 2025. – Vol. 5, № 99. – DOI: 10.1007/s43926-025-00207-4.
9. Санталов, Г. Д. Беспроводные сенсорные сети с централизованной обработкой данных / Г. Д. Санталов, Б. В. Артемьев // *Информационные технологии*. – 2018. – Т. 24, № 5. – С. 299–305. – DOI: 10.17587/it.24.299-305.
10. Ward, T. Virtual Classrooms, Real Impact: A Framework for Introducing Virtual Reality to K–12 STEM Learning Based on Best Practices / T. Ward, K. Jenab, J. Ortega-Moody, G. Barari, L.D.C. Molina Acosta // *Appl. Sci.* – 2025. – Vol. 15, № 21. – Art. 11356. – DOI: 10.3390/app152111356.
11. McLaughlin, J.A. Students need more practice with spatial thinking in geoscience education: a systematic review of the literature / J.A. McLaughlin, J.M. Bailey // *Studies in Science Education*. – 2023. – Vol. 59, № 2. – P. 147–204. – DOI: 10.1080/03057267.2022.2029305.
12. Бычковский, Д. Ю. Разработка искусственного интеллекта имитации городского населения средствами графического движка UNREAL ENGINE 4 / Д. Ю. Бычковский, Ф. Н. Абу-Абед // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. – 2018. – Т. 6, № 2(21). – С. 230–239.
13. Кирилов, Н. А. Разработка симулятора работы с геодезическим оборудованием в режиме виртуальной реальности / Н. А. Кирилов // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 16-25. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-16-25. – EDN GUUATK.
14. Кононенко, М. М. Разработка симулятора в среде Unity для выполнения практических работ по геодезии / М. М. Кононенко, А. А. Шарапов // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 91-95. – EDN TBDDIB.
15. Смолянинова, О. Г. Перспективы использования технологии е-портфолио для трудоустройства (итоги экспертного семинара) / О. Г. Смолянинова, Н. В. Бекузарова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 6. – С. 300.
16. Бурый, А. С. Генеративный искусственный интеллект цифрового университета / А. С. Бурый, О. С. Цаплина // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. – 2024. – № 5(80). – С. 85–91.

© В. А. Хамедов, 2026