УДК 504.3:528.9:911.52
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-1-2
EDN VBZNUV

Матрица переходов геосистем как инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО – Югры

Лебедев Э.А.
Югорский государственный университет
Россия, 628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16
eduard_lebedev1999@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение матрицы переходов геосистем как инструмента геоэкологической интерпретации пространственной трансформации территории на региональном уровне. Актуальность исследования обусловлена необходимостью сопряжения количественной оценки изменения углеродного баланса с анализом пространственной структуры геосистем, которые в существующих подходах, как правило, рассматриваются раздельно. На основе геоинформационно-картографической обработки разновременных данных (2000 и 2015 гг.) для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО – Югра) сформирована матрица переходов, отражающая направления трансформации бореальных лесных равнинных, болотных равнинных, луговых пойменных и водных геосистем, а также техногенно нарушенных участков. Выполнен количественный анализ переходов с определением их долевого участия и пространственной локализации. Установлено, что доминирующими являются переходы бореальных лесных равнинных геосистем в болотные равнинные и водные геосистемы, а также формирование техногенно нарушенных территорий в пределах зон интенсивного промышленного освоения. Данные процессы обусловлены изменением гидрологического режима, вызванным развитием линейно-очаговой инфраструктуры нефтегазового комплекса. Строительство дорог, трубопроводов и насыпей нарушает естественный дренаж и перераспределяет поверхностный и грунтовый сток, что в условиях плоско-равнинного рельефа приводит к вторичному заболачиванию, подтоплению лесных массивов и образованию устойчивых водных поверхностей. Формирование техногенных участков напрямую связано с размещением кустов скважин, производственных площадок, шламовых амбаров и карьеров, что сопровождается прямым уничтожением почвенно-растительного покрова и локальной перестройкой ландшафтной структуры. Показано, что направленность трансформации геосистем определяет изменение их функциональной роли (в качестве поглотителей или источников парниковых газов) в формировании совокупного углеродного баланса территории. Предложена типизация переходов геосистем, включающая устойчивые, деградационные, гидрологические и техногенные процессы. На основе сопоставления матрицы переходов и их пространственной локализации выполнено обоснование приоритетных направлений реализации природно-климатических решений. Показано, что матрица переходов может быть использована как инструмент геоэкологической интерпретации, позволяющий связать изменение углеродного баланса с пространственной трансформацией геосистем и перейти к дифференциации территории по условиям реализации природно-климатических решений.

Ключевые слова: трансформация геосистем, матрица переходов, углеродный баланс, геоэкологический потенциал, ГИС-анализ, природно-климатические решения (ПКР), ХМАО – Югра

Для цитирования: Лебедев Э.А. 2026. Матрица переходов геосистем как инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО – Югры. Региональные геосистемы, 50 (2): 380–392. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-1-2 EDN: VBZNUV

© Лебедев Э.А., 2026

Geosystems Transition Matrix as a Tool for Geoecological Interpretation of Spatial Transformation in KhMAO – Yugra

Eduard A. Lebedev
Yugra State University
16 Chekhov St., Khanty-Mansiysk 628012, Russia
eduard_lebedev1999@mail.ru

Abstract. The article examines the application of the geosystem transition matrix as a tool for geoecological interpretation of spatial transformation at the regional level. The relevance of the study is determined by the need to integrate quantitative assessment of changes in the carbon balance with the analysis of the spatial structure of geosystems, which in existing approaches are typically considered separately. Based on GIS-based cartographic processing of multi-temporal data (2000 and 2015) for the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra (KhMAO – Yugra), a transition matrix was constructed, reflecting transformation pathways of boreal plain forest, plain peatland, floodplain meadow, and aquatic geosystems, as well as technogenically disturbed areas. A quantitative analysis of transitions was performed, including determination of their proportional contribution and spatial localization. We have established that the dominant transformations are associated with the conversion of boreal plain forest geosystems into plain peatland and aquatic geosystems, as well as the formation of technogenically disturbed areas within zones of intensive industrial development. These processes are driven by changes in the hydrological regime caused by the development of linear and areal infrastructure of the oil and gas complex. The construction of roads, pipelines, and embankments disrupts natural drainage and redistributes surface and groundwater flow, which, under flat terrain conditions, leads to secondary waterlogging, flooding of forest stands, and formation of persistent water bodies. The formation of technogenic areas is directly related to the placement of well clusters, production sites, sludge pits, and quarries, which is accompanied by direct destruction of soil-vegetation cover and local restructuring of the landscape structure. The study shows that the direction of geosystem transformation determines changes in their functional role (as sinks or sources of greenhouse gases) in shaping the aggregate carbon balance of the territory. A classification of geosystem transitions is proposed, including stable, degradation, hydrological, and technogenic processes. Based on the integration of the transition matrix and spatial localization of transitions, priority areas for the implementation of nature-based climate solutions are justified. Our findings prove that the transition matrix can be used as a tool for geoecological interpretation, making it possible to link changes in carbon balance to spatial transformation of geosystems and facilitating territorial differentiation according to conditions for implementing nature-based climate solutions.

Keywords: transformation of geosystems, transition matrix, carbon balance, geoecological potential, GIS analysis, nature-based climate solutions (NCS), KhMAO – Yugra

For citation: Lebedev E.A. 2026. Geosystems Transition Matrix as a Tool for Geoecological Interpretation of Spatial Transformation in KhMAO – Yugra. Regional Geosystems, 50(2): 380–392 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-1-2 EDN: VBZNUV

Введение

В условиях усиливающегося антропогенного воздействия и необходимости реализации климатической политики возрастает значимость исследований, направленных на оценку изменения углеродного баланса геосистем [Изменения климата … 2024]. На региональном уровне такая оценка, как правило, основывается на агрегированном подходе, при котором вклад отдельных типов геосистем определяется их площадью и удельными коэффициентами эмиссии и поглощения парниковых газов [Экологическая доктрина, 2002]. Это обеспечивает сопоставимость результатов, однако не раскрывает пространственные причины наблюдаемых изменений [Черенова, Музалевский, 2015].

Геоинформационно-картографический анализ, в свою очередь, позволяет выявлять трансформацию геосистем и изменение их пространственной структуры [Балязин, 2018]. В существующих исследованиях данные направления нередко рассматриваются раздельно: количественная оценка углеродного баланса выполняется независимо от анализа трансформации геосистем. В результате фиксируется изменение интегрального показателя, однако его интерпретация через характер преобразования геосистем остается недостаточно разработанной [Алферов и др., 2017].

Особую актуальность данная проблема приобретает для нефтегазоосвоенных территорий, где антропогенное воздействие сопровождается перераспределением геосистем, нарушением гидрологического режима и формированием техногенных объектов [Гилева, Егорова, 2019]. Территория ХМАО – Югры является одним из наиболее показательных регионов в этом отношении, сочетая высокую степень заболоченности с интенсивным промышленным освоением. В этих условиях пространственная трансформация геосистем непосредственно определяет динамику углеродного баланса территории.

Для сопряжения расчётной и пространственной составляющих анализа в настоящем исследовании используется матрица переходов геосистем. В отличие от традиционного подхода, где она выполняет вспомогательную функцию, здесь матрица рассматривается как инструмент выявления направлений трансформации и их геоэкологической интерпретации [Бакланов, 2024].

Применение матрицы переходов позволяет перейти от фиксации изменения площадей к анализу процессов трансформации геосистем и их пространственной локализации. Это обеспечивает возможность интерпретации изменения углеродного баланса через структуру и направленность преобразований геосистем, а также выделения территорий, различающихся по условиям реализации природно-климатических решений.

В современной научной практике существуют два совершенно разных метода измерения углеродного баланса. Первый метод – это региональные агрегированные расчёты, которые используют характеристики местности и стандартные коэффициенты в качестве основы для вычислений. Главная цель региональных коллективных расчетов – получение сопоставимых результатов, которые, к сожалению, в конечном итоге нормализуют разницу в пределах одного и того же типа рельефа [IPCC, 2006; Гуня и др., 2022; Голеусов, 2023; Чимитдоржиева и др., 2024]. Другой метод описывается как локальный мониторинг потока парниковых газов, включая метод турбулентной пульсации, который дает более точные измерения; однако масштабирование наблюдений, сделанных в масштабе выборки, до региональной области становится методологической проблемой [Vaganov et al., 2005; Демаков, Сафин, 2007; Dyukarev et al., 2021; Голеусов, 2025]. Это различие особенно заметно в районах с высокой интенсивностью разведки нефти. Влияние изменений инфраструктуры приводит к изменениям гидрологического режима и растительности [Мячина и др., 2023], однако существующие методы, как правило, игнорируют связь между локальными изменениями и перераспределением геосистемных территорий, изменением гидрологического состояния и потерей пространственной связности.

Матрица изменений на основе ГИС, построенная с использованием картографических данных за 2000–2015 гг., демонстрирует потенциал для устранения этого недостатка. В качестве средства поддержки расчётов площадей данное исследование создаёт автономный инструмент, позволяющий выявлять изменения углеродного баланса на основе направления пространственного движения. Кроме того, он позволит определить наиболее значимые маршруты распространения ландшафтных комплексов. Таким образом, помимо предоставления агрегированных данных, относящихся к общему масштабу проблемы, этот новый исследовательский инструмент будет использоваться для выявления отдельных областей для восстановления геосистем, чтобы обеспечить

дополнительную основу для принятия решений, касающихся окружающей среды и климата.

Целью исследования является обоснование применения матрицы переходов геосистем как инструмента геоэкологической интерпретации трансформации территории и связанного с ней изменения углеродного баланса на примере ХМАО – Югры. Для достижения поставленной цели в работе выполнен геоинформационно-картографический анализ пространственной структуры геосистем, сформирована матрица переходов и определены направления их трансформации, оценен вклад выявленных переходов в изменение углеродного баланса, выполнена пространственная локализация процессов трансформации и обоснованы приоритетные направления реализации природно-климатических решений [Аитов и др., 2015].

Впервые матрица переходов применена как самостоятельный инструмент геоэкологической интерпретации трансформации территории ХМАО–Югры. Разработана типизация переходов, связывающая их направленность с изменением углеродного баланса, и обосновано использование связки «матрица–карта переходов» для пространственной дифференциации природно-климатических решений [Мячина, 2014].

Объекты и методы исследования

Методическая основа исследования опирается на геоинформационно-картографический анализ пространственной структуры геосистем и оценки изменения их углеродного баланса на территории ХМАО – Югры.

В анализе рассмотрена территория нефтегазоосвоенных участков округа площадью 7,31 млн га. Эта территория отличается высокой заболоченностью: заболоченные земли занимают до 46 % площади. Здесь преобладают бореальные лесные и болотные равнинные геосистемы. Инфраструктура развита по линейно-очаговому принципу.

Для оценки трансформации использовали несколько ключевых показателей. Первый – площади пяти укрупнённых функциональных классов геосистем. Второй – нормативные коэффициенты эмиссии и поглощения парниковых газов, утверждённые Приказом Минприроды России № 371. Третий – элементы матрицы переходов S_{ij}, которые отражают площади направленных изменений между классами за период 2000–2015 гг. Четвёртый – интегральное значение изменения углеродного баланса (ΔCO_2-экв.).

Пространственная база исследования сформирована на основе сопоставления разновременных данных, отражающих состояние геосистем в 2000 и 2015 гг. в границах месторождений, что обеспечивает корректность анализа их трансформации и сопоставимость полученных результатов (рис.1). Ключевым элементом методики является построение матрицы переходов геосистем, отражающей направления их трансформации между указанными временными состояниями. В рамках настоящего исследования она рассматривается как основной инструмент геоэкологического анализа, позволяющий выявить направленность преобразований геосистем [Колдобская, 2021].

Формирование матрицы переходов выполнено в среде *QGIS* на основе сопоставления двух векторных слоёв: ландшафтной карты 2000 г. и актуализированной карты 2015 г., дешифрированной по материалам дистанционного зондирования (снимки *Landsat 5/7/8*). На предварительном этапе оба слоя приведены к единой системе координат *WGS 84 / UTM zone 43N (EPSG:32643)*, прошла проверку на топологические ошибки (самопересечения, разрывы границ, наложения полигонов) и обрезаны по единому контуру исследуемой территории, охватывающему площадь нефтяных месторождений ХМАО – Югры (7,31 млн га).

Исходные ландшафтные карты составлены по морфологическому принципу с выделением рядов и серий, учитывающих рельеф, тип растительности и характеристики почвенного покрова (подзолистые, аллювиальные, торфяно-болотные и др.). Для

обеспечения сопоставимости данных за разные годы детальные типологические единицы агрегированы до пяти укрупнённых функциональных классов: лесные равнинные, болотные равнинные, луговые пойменные, водные и техногенно нарушенные территории. Агрегирование выполнено по единым диагностическим признакам – гидрологическому режиму, строению почвенного профиля и типу растительности.

Пространственное сопоставление реализовано через инструмент геообработки *Intersection*, в результате которого сформирован производный полигональный слой. Каждый элемент этого слоя содержит в таблице атрибутов информацию об исходном классе геосистемы (2000 г.) и её состоянии на 2015 г. Площади полученных полигонов рассчитаны в проекционной системе координат с использованием встроенного калькулятора геометрии.

На основе экспорта таблицы атрибутов в среду электронных таблиц выполнена кросс-табуляция: площади суммированы по парам «исходный класс – результирующий класс». Таким образом, сформирована итоговая матрица переходов S_{ij}, где строки соответствуют состоянию геосистем в 2000 г., столбцы – в 2015 г., а значения ячеек отражают площади направленных изменений. Сумма всех элементов матрицы совпадает с общей площадью исследования, что подтверждает корректность геообработки и отсутствие потерь данных.

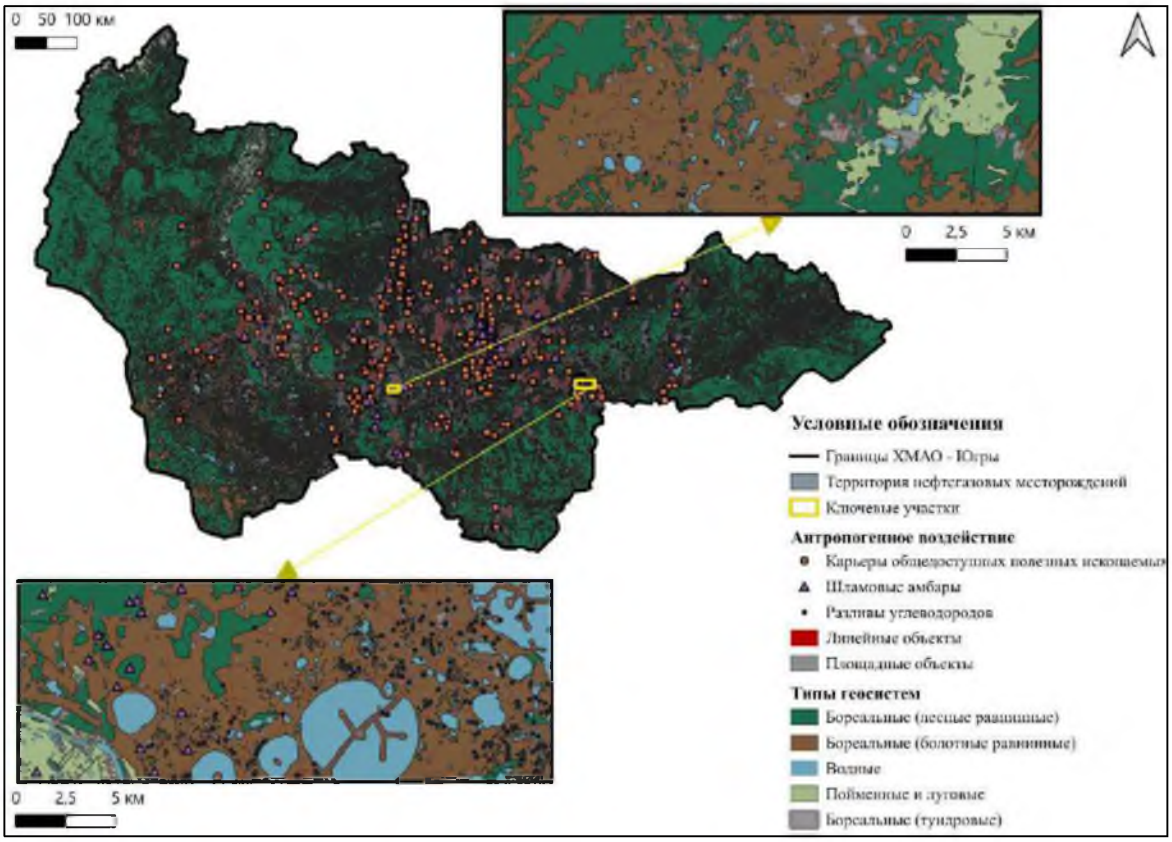


Рис. 1. Антропогенное воздействие на ландшафты ХМАО – Югры за период 2000–2015 гг.
Fig. 1. Anthropogenic impact on the landscapes of the KhMAO – Yugra for the period 2000–2015

Значения матрицы отражают площади участков, перешедших из одного состояния в другое, и используются для выявления направлений трансформации [IPCC, 2006].

Матрица переходов не применяется для расчёта углеродного баланса, а используется как инструмент его интерпретации. Это позволяет рассматривать изменение интегрального показателя как результат перераспределения геосистем и направленности их трансформации.

Результаты и их обсуждение

Построенная матрица переходов укрупненных функциональных классов геосистем позволила выявить основные направления пространственной трансформации территории ХМАО – Югры за период 2000–2015 гг. (табл. 1). В отличие от простого сопоставления площадей, она отражает направленность переходов между геосистемами, что имеет принципиальное значение для геоэкологической интерпретации выявленных изменений [Попов, 2022].

Таблица 1
Table 1

Матрица переходов геосистем ХМАО – Югры за 2000–2015 гг., га
Matrix of geosystem transitions in KhMAO – Yugra for 2000–2015, hectares

2000 г. / 2015 г.	Бореальные лесные равнинные	Болотные равнинные	Луговые пойменные	Водные	Итого (2000 г.)
Бореальные лесные равнинные	2 575 518 (63,04 %)	1 125 000 (27,54 %)	185 548 (4,54 %)	199 425 (4,88 %)	4 085 491
Болотные равнинные	478 228 (19,36 %)	1 592 698 (64,49 %)	21 942 (0,89 %)	376 958 (15,26 %)	2 469 826
Луговые пойменные	82 387 (13,32 %)	100 928 (16,32 %)	387 862 (62,72 %)	47 213 (7,63 %)	618 390
Водные	7 903 (5,76 %)	19 162 (13,97 %)	8 328 (6,07 %)	101 776 (74,20 %)	137 169
Итого (2015 г.)	3 144 036	2 837 788	603 680	725 372	7 310 876

Суммарная площадь всех элементов матрицы совпадает с площадью исследуемой территории. Это позволяет считать корректным сопоставление разновременных срезов и говорит о том, что основные переходы между функциональными классами геосистем учтены в полном объёме.

Для интерпретации результатов выполнена типизация переходов геосистем, включающая устойчивые, деградационные, гидрологические и техногенные процессы. Деградационные переходы связаны с сокращением площади бореальных лесных равнинных геосистем, гидрологические – с изменением соотношения болотных равнинных и водных геосистем, техногенные – с формированием нарушенных территорий [Сочава, 1978].

Дополнительно выполнена пространственная локализация переходов путём картографической визуализации результатов оверлейного анализа. Полученная карта переходов позволяет выявить зоны концентрации трансформационных процессов и сопоставить их с элементами антропогенной нагрузки.

Таким образом, формируется связка «матрица переходов – карта переходов», обеспечивающая переход от фиксации изменений к их пространственной интерпретации. Это позволяет выявить не только масштаб трансформации геосистем, но и её пространственную структуру, что является основой для геоэкологического анализа и обоснования природно-климатических решений.

Пространственная перестройка ландшафтов идёт преимущественно по пути гидрологического переувлажнения. Наиболее масштабный сдвиг зафиксирован в лесных равнинных комплексах: более 1,12 млн га (27,54 % площади) сменили классификационный тип на болотный. Это не просто таксономическая замена. Меняется водный баланс, нарастает заболачивание, что напрямую снижает буферный потенциал этих территорий.

В зонах длительного обводнения прослеживается ещё один вектор – образование открытых акваторий на месте бывших болот. Площадь таких участков достигает 376 958 га (15,26 %). Появление водных зеркал перестраивает локальный газообмен: усиливаются процессы эмиссии, меняется соотношение источников и стоков парниковых газов.

Обратная сукцессия (болота → леса) охватывает 478 228 га (19,36 %). Здесь важна методологическая оговорка. Наблюдаемая динамика может отражать реальное осушение, но нередко становится артефактом дешифрирования снимков разных лет. Без полевой верификации трактовать эти цифры однозначно рискованно.

Пойменно-луговые ландшафты удерживают исходный облик лишь на 62,72 % территории. При этом 16,32 % площади деградирует в болотные комплексы, что служит прямым маркером прогрессирующего переувлажнения речных долин. В целом же наименее уязвимыми остаются водные геосистемы (74,20 % сохранности типа). Близкие показатели у болотных равнин (64,49 %), тогда как бореальные лесные равнины демонстрируют самую низкую стабильность (63,04 %). Эта разница подтверждает их высокую чувствительность к текущим климатическим и антропогенным нагрузкам.

Пространственное распределение выявленных переходов отражено на карте зон приоритетной реализации природно-климатических решений (рис.2). Картографический подход здесь решает сразу несколько задач. Во-первых, он фиксирует не просто локализацию процессов, но и участки их пространственной кластеризации. Во-вторых, даёт возможность соотнести динамику ландшафтов с территориальной структурой и уровнем антропогенной нагрузки [Берлянт, 2002].

Когда разные типы трансформации сведены в единое картографическое поле, становятся видны зоны их наложения и взаимодействия. Это важный методический шаг: он смещает фокус с описания отдельных переходов на анализ пространственной организации трансформационных процессов в целом и оценку их геоэкологической роли. Подобная визуализация позволяет выявить кумулятивные эффекты антропогенной нагрузки и определить приоритетные участки для реализации природно-климатических решений, где восстановление функций геосистем будет наиболее эффективным и обратимым.

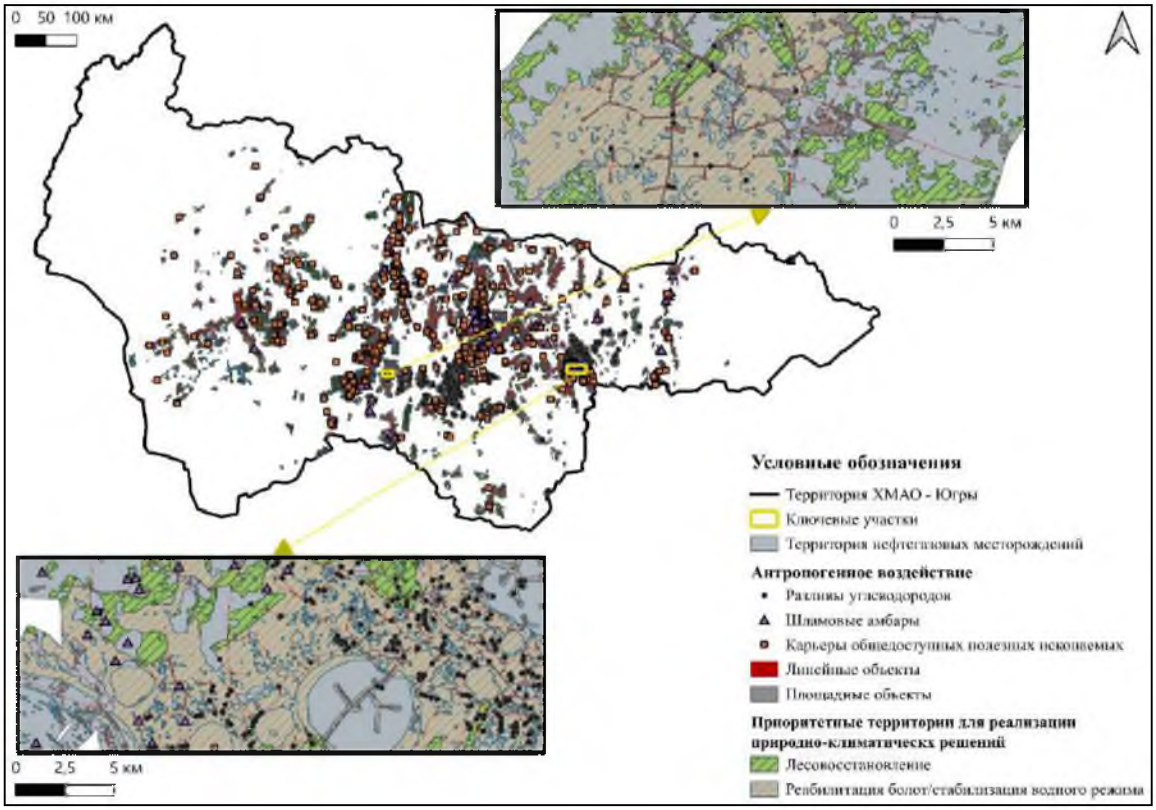


Рис. 2. Пространственная локализация зон трансформации геосистем и приоритетных территорий для реализации природно-климатических решений

Fig. 2. Spatial localization of geosystem transformation zones and priority areas for the implementation of nature-based climate solutions

Анализ карты показывает, что зоны реализации природно-климатических решений приурочены к участкам трансформации бореальных лесных равнинных геосистем, зонам вторичного заболачивания, обводнения и концентрации техногенно нарушенных территорий. В этом контексте карта переходов выступает как самостоятельный инструмент интерпретации, позволяющий локализовать участки, где выявленные переходы приобретают практическое значение [Исаченко, 1976].

Сопоставление матрицы переходов и карты пространственной локализации показывает, что основное ядро трансформации связано с перераспределением площадей бореальных лесных равнинных геосистем в болотные равнинные и водные геосистемы. Как было отмечено ранее [Коломыц, Сурова, 2019] эти переходы определяют направленность изменения углеродного баланса территории, тогда как матрица переходов позволяет раскрыть пространственные причины выявленных изменений, что демонстрирует табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Типы переходов геосистем и их значение для интерпретации природно-климатических решений
Types of geosystem transitions and their significance for the interpretation of nature-based climate solutions

Тип перехода	Основные переходы геосистем	Геоэкологическое значение	Приоритетное направление ПКР
Деградационные переходы	бореальные лесные равнинные – водные; бореальные лесные равнинные – луговые пойменные	снижение площади бореальных лесных равнинных геосистем и ослабление поглощающей функции	лесовосстановление
Гидрологическая трансформация	бореальные лесные равнинные – болотные равнинные; болотные равнинные – водные; луговые пойменные – болотные равнинные	изменение водного режима и перестройка углеродного обмена	гидрологическая реабилитация / стабилизация водного режима
Техногенная трансформация	переходы природных в техногенно нарушенные участки	утрата почвенно-растительного покрова и природных функций	рекультивация

Предложенная типизация позволяет перейти от простого перечисления переходов к их осмыслению с точки зрения функций геосистем. Для бореальных лесных равнинных геосистем основным последствием оказывается сокращение площади, сопровождаемое ослаблением поглощающей функции. В случае болотных равнинных геосистем на первый план выходит изменение водного режима, что напрямую влияет на структуру газообмена. Расширение водных геосистем связано с увеличением площадей, потенциально участвующих в эмиссии парниковых газов. Техногенно нарушенные территории, в свою очередь, характеризуются низкой степенью обратимости и требуют проведения рекультивационных мероприятий [Dyukarev et al., 2021].

Приоритет природно-климатических решений определяется глубиной нарушений водного режима. Гидрологическая реабилитация применяется к деградированным болотам и предполагает активное восстановление уровня грунтовых вод и блокировку осушительных систем для возврата функции долговременного депонирования углерода. В зонах вторичного переувлажнения, где возврат к исходному состоянию маловероятен, целесообразна гидрологическая стабилизация – управление текущим водным режимом для остановки деградации, минимизации эмиссии парниковых газов и сохранения

пространственной целостности геосистем. Такое разграничение позволяет дифференцировать мероприятия в зависимости от обратимости нарушений.

Полученные результаты в целом согласуются с пространственно-аналитическим подходом, в рамках которого расчёт углеродного баланса и анализ трансформации геосистем рассматриваются раздельно, но во взаимосвязи [Трефилова и др., 2015]. Это позволяет избежать их смешения и более точно интерпретировать выявленные изменения.

Связка «матрица переходов – карта переходов» дает возможность перейти от обобщенной оценки к пространственно дифференцированному анализу территории. В этом случае выбор природно-климатических решений определяется не только величиной изменений, но и их характером: для участков деградации бореальных лесных равнинных геосистем приоритетным становится лесовосстановление, для зон переувлажнения – гидрологическая реабилитация, а для техногенно нарушенных территорий – рекультивация [Середовских, 2025].

Отдельно стоит выделить лесную рекультивацию шламовых амбаров, как эффективное природно-климатическое решение. В отличие от традиционных подходов, лесная рекультивация шламовых амбаров за 15–20 лет формирует устойчивые насаждения, секвестирующие углерод в 3–6 раз активнее зрелых лесов и одновременно предотвращающие эрозию при восстановлении биоразнообразия [Лебедев, Скурихин, 2024].

Практические меры, направленные на недопущение деградации торфяников и катастрофических потерь леса, способствуют сохранению природных углеродных поглотителей. Природно-климатические решения, такие как реабилитация болот, стабилизация водного режима и восстановление лесов, способны существенно усилить вклад этих геосистем в достижение углеродной нейтральности [Лебедев и др., 2026].

Таким образом, матрица переходов в рамках исследования выступает не просто вспомогательным инструментом, а основой геоэкологической интерпретации. Она позволяет связать изменение углеродного баланса с конкретными пространственными преобразованиями геосистем и перейти к обоснованию природно-климатических решений для территории ХМАО – Югры.

Методические ограничения работы обусловлены особенностями обработки исходных материалов. Дешифрирование снимков дистанционного зондирования земли сопровождается методической погрешностью классификации, которая усиливается при переходе к укрупнённой типологии геосистем. Отдельный фактор неопределённости – применение осреднённых коэффициентов: они нивелируют локальную специфику, сглаживая различия на микроуровне. Указанные обстоятельства не искажают общую картину ландшафтной динамики, но формируют допустимый разброс в расчётах площадей. В связи с этим количественные показатели целесообразно трактовать как ориентировочные, а основной акцент в интерпретации смещать на качественные векторы трансформации.

Заключение

Региональная оценка углеродного баланса лесоболотных комплексов требует обязательной привязки к ландшафтной динамике. На территории Югры фиксируется устойчивая тенденция: лесные массивы сокращаются, уступая место болотам и открытым водоёмам. Параллельно растут площади техногенно нарушенных земель. Эти процессы не случайны. Они отражают совместное влияние изменений гидрологического режима и последствий нефтегазовой деятельности. Как следствие, снижается способность территории депонировать углерод, а соотношение потоков С-соединений смещается в сторону эмиссии. Баланс меняется не хаотично, а подчиняется чётким пространственным закономерностям.

Матрица переходов выступает не просто счетчиком гектаров. Ее задача – зафиксировать направленность смен типов геосистем и связать их с углеродной

динамикой. Когда данные матрицы накладываются на картографическую основу, результаты получают пространственную привязку. Суммарные цифры уступают место локальным очагам трансформации. Именно в этих зонах процессы идут с максимальной интенсивностью. Такой подход смещает акцент с констатации общих трендов на выявление конкретных механизмов, действующих в отдельных ландшафтных ячейках.

Полученные данные меняют логику обоснования природно-климатических мер. Опираться только на расчётный углеродный эффект недостаточно. Ключевое значение приобретает тип деградации, степень фрагментации комплексов и потенциал восстановления нарушенных земель. Учёт этих параметров убирает излишнюю абстракцию и привязывает решения к реальным ограничениям нефтегазоосвоенных территорий. В методическом плане работа демонстрирует целесообразность разделения количественных расчётов и качественной интерпретации пространственных данных. На практике результаты могут служить основой для проектирования климатических мероприятий в регионах с длительной историей промышленного освоения.

Список источников

Берлянт А.М. 2002. Картография. М., Аспект Пресс, 336 с.

Экологическая доктрина Российской Федерации. 2002. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 года № 1225-р. Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92097/ (дата обращения: 22.01.2026).

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Institute for Global Environmental Strategies. Electronic resource. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html (date of access: 28.04.2026).

Список литературы

Аитов И.С., Козелкова Е.Н., Кузнецова Э.А. 2015. Виды антропогенных нагрузок на почво-грунты и снежный покров в районах кустовых площадок Нижневартовского региона. Международный научно-исследовательский журнал, 10–4(41): 84–86. https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.148

Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л., Грабар В.А., Замолодчиков Д.Г., Зинченко А.В. 2017. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов, Амирит, 278 с.

Бакланов П.Я. 2024. Пространственные структуры и территориальные системы в региональном развитии: избранное. Владивосток, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 464 с.

Балязин И.В. 2018. Анализ динамики степных геосистем с применением картографического метода на примере Койбальской степи. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 26: 18–30. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.18

Гилева Л.Н., Егорова Н.В. 2019. Исследование и оценка воздействия объектов нефтегазового комплекса на окружающую природную среду северных территорий в целях предотвращения и снижения неблагоприятных техногенных последствий. Нефть и газ, 1: 121–132.

Голеусов П.В. 2023. Предварительная оценка потенциала поглощения углекислого газа экосистемами Белгородской области. Успехи современного естествознания, 12: 169–177. https://doi.org/10.17513/use.38188

Голеусов П.В. 2025. Результаты мониторинга концентрации и потоков углекислого газа в г. Белгороде (2023–2024 гг.). Региональные геосистемы, 49(3): 462–476. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-3-462-476

Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш. 2022. Изучение ландшафтной структуры для оценки углеродного баланса горных экосистем. Геология и геофизика Юга России, 12(3): 170–181. https://doi.org/10.46698/VNC.2022.48.65.012

Демаков Ю.П., Сафин М.Г. 2007. Проблема оценки углерододепонирующей способности экосистем олиготрофных болот и пути ее решения. Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 1: 55–66.

Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. 2024. М., Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 360 с.

Исаченко А.Г. 1976. Прикладное ландшафтоведение. Часть 1. Л., Изд-во Ленинградского ун-та, 152 с.

Коломыц Э.Г., Сурова Н.А. 2019. Методы расчетов углеродного баланса лесных экосистем при глобальных изменениях климата. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 28(2): 189–218. https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10221

Колдобская Н.А. 2021. Экологическая ситуация в городах и районах Ставропольского края. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 5: 45–56. https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-5-45-56

Лебедев Э.А., Ахмедова И.Д., Тесленок С.А. 2026. Сравнительная эффективность углерод-регулирующей функции болот и бореальных лесов средней тайги Западной Сибири. Экология и промышленность России, 30(4): 57–61. https://doi.org/10.17323/1995-0675-2026-30-4-57-61

Лебедев Э.А., Скурихин А.А. 2024. Лесная рекультивация шламовых амбаров как механизм реализации природных климатических решений в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. В кн.: Геоэкология и рациональное недропользование: от науки к практике. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, Белгород, 10 октября 2024. Белгород, БелГУ: 172–174.

Мячина К.В. 2014. Опыт дистанционного мониторинга степных ландшафтов в районах нефтепромыслов на основе снимков Landsat. Вопросы степеведения, 11: 145–152.

Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В., Щавелев А.Н. 2023. Изменения средообразующих параметров степных геосистем в условиях нефтедобычи (на примере Волго-Уральского региона). Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 46: 114–127. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114

Попов В.А. 2022. Об основных положениях учения о ландшафтогенезе. Центральноазиатский журнал географических исследований, 1–2: 4–17.

Середовских Б.А. 2025. Ландшафтно-гидрологические системы Севера Западной Сибири: оценка геоэкологического риска. Нижневартовск, Нижневартовский государственный университет, 495 с. https://doi.org/10.35634/2412-9518-2024-34-2-190-201

Сочава В.Б. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 319 с.

Трефилова Н.Я., Грачева М.К., Корочкина А.М. 2015. ГИС-модель карты функционального зонирования как основа при постановке природоохранных работ. В кн.: Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 1–2 декабря 2015. Киров, Веси: 215–219.

Церенова М.П., Музалевский А.А. 2015. К вопросу комплексной геоэкологической оценки урбанизированной территории в прибрежной зоне. Экологический и экономический аспекты. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 38: 189–201.

Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Э.О., Мильхеев Е.Ю., Цыбенов Ю.Б., Корсунова Ц.Д.-Ц. 2024. Секвестрация углерода экосистемами холодных территорий Забайкалья. Агрохимия, 12: 48–53. https://doi.org/10.31857/S0002188124120074

Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., … Lapshina E. 2021. The Multiscale Monitoring of Peatland Ecosystem Carbon Cycling in the Middle Taiga Zone of Western Siberia: The Mukhrino Bog Case Study. Land, 10(8): 824. https://doi.org/10.3390/land10080824

Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., … Shibistova O.B. 2005. Forests and Swamps of Siberia in the Global Carbon Cycle. Siberian Journal of Ecology, 12(4): 631–649.

References

Aitov I.S., Kozelkova E.N., Kuznetsova E.A. 2015. Types of Anthropogenic Loads on Soils and Snow Cover in Well Cluster Areas of the Nizhnevartovsk region. International Research Journal, 10–4(41): 84–86 (in Russian). https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.148

Alferov A.M., Blinov V.G., Gitarsky M.L., Grabar V.A., Zamolodchikov D.G., Zinchenko A.V. 2017. Monitoring of Greenhouse Gas Fluxes in Natural Ecosystems. Saratov, Pabl. Amirit, 278 p. (in Russian).

Baklanov P.Ya. 2024. Spatial Structures and Territorial Systems in Regional Development: Selected Works. Vladivostok, Pabl. Pacific Institute of Geography Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 464 p. (in Russian)

Balyazin I.V. 2018. Analysis of the Dynamics of Steppe Geosystems Using the Cartographic Method: a Case Study of the Koibal Steppe. Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 26: 18–30 (in Russian). https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.18

Gileva L.N., Egorova N.V. 2019. Study and Assessment of the Impact of Oil and Gas Complex Facilities on the Natural Environment of Northern Territories for the Prevention and Reduction of Adverse Technogenic Consequences. Oil and Gas, 1: 121–132 (in Russian).

Goleusov P.V. 2023. Preliminary Assessment of the Potential for Carbon Dioxide Absorption by Ecosystems of the Belgorod Oblast. Advances in Current Natural Sciences, 12: 169–177 (in Russian). https://doi.org/10.17513/use.38188

Goleusov P.V. 2025. Results of Monitoring Carbon Dioxide Concentrations and Fluxes in Belgorod (2023–2024). Regional Geosystems, 49(3): 462–476 (in Russian). https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-3-462-476

Gunya A.N., Gairabekov U.T., Gagaeva Z.Sh. 2022. Study of Landscape Structure for Assessing the Carbon Balance of Mountain Ecosystems. Geology and Geophysics of Russian South, 12(3): 170–181 (in Russian). https://doi.org/10.46698/VNC.2022.48.65.012

Demakov Yu.P., Safin M.G. 2007. The Problem of Assessing the Carbon-Depositing Capacity of Oligotrophic Bog Ecosystems and Ways to Solve It. Bulletin of PSTU. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 1: 55–66 (in Russian).

Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and regulation. 2024. Moscow, Pabl. A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, 360 p. (in Russian).

Isachenko A.G. 1976. Prikladnoye landshaftovedeniye [Applied Landscape Science]. Part 1. Leningrad, Pabl. Leningrad University Press, 152 p.

Kolomyts E.G., Surova N.A. 2019. Methods for Calculating the Carbon Balance of Forest Ecosystems Under Global Climate Change. Samarskaya Luka: Problems of Regional and Global Ecology, 28(2): 189–218 (in Russian). https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10221

Koldobskaya N.A. 2021. Ecological Situation in Cities and Districts of Stavropol Krai. Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography, 5: 45–56 (in Russian). https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-5-45-56

Lebedev E.A., Akhmedova I.D., Teslenok S.A. 2026. Comparative Effectiveness of the Carbon-Regulating Function of Bogs and Boreal Forests of the Middle Taiga of Western Siberia. Ecology and Industry of Russia, 30(4): 57–61 (in Russian). https://doi.org/10.17323/1995-0675-2026-30-4-57-61

Lebedev E.A., Skurikhin A.A. 2024. Forest Reclamation of Sludge Pits as a Mechanism for Implementing Natural Climate Solutions in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra. In: Geoecology and Rational Subsoil Use: From Science to Practice. Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Belgorod, 10 October 2024. Belgorod, Pabl. BelSU: 172–174 (in Russian).

Myachina K.V. 2014. Experience of Remote Monitoring of Steppe Landscapes in Oil Field Areas Based on Landsat Imagery. Questions of Steppe Science, 11: 145–152 (in Russian).

Myachina K.V., Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V., Shchavelev A.N. 2023. Changes in Environmental Parameters of Steppe Geosystems Under Oil Production Conditions (on the Example of the Volga-Ural Region). Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences, 46: 114–127 (in Russian). https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114

Popov V.A. 2022. On the Basic Provisions of the Theory of Landscape Genesis. Central Asian Journal of Geographical Research, 1–2: 4–17 (in Russian).

Seredovskikh B.A. 2025. Landscape-Hydrological Systems of the North of Western Siberia: Assessment of Geoecological Risk. Nizhnevartovsk, Pabl. Nizhnevartovsk State University, 495 p. (in Russian). https://doi.org/10.35634/2412-9518-2024-34-2-190-201

Sochava V.B. 1978. Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh [Introduction to the Theory of Geosystems]. Novosibirsk, Pabl. Nauka, 319 p.

Trefilova N.Ya., Gracheva M.K., Korochkina A.M. 2015. GIS Model of a Functional Zoning Map as a Basis for Planning Environmental Protection Work. In: Current Problems of Regional Ecology and Biodiagnostics of Living Systems. Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical

Conference with International Participation, Kirov, 1–2 December 2015. Kirov, Pabl. Vesi: 215–219 (in Russian).

Tserenova M.P., Muzalevsky A.A. 2015. On the Issue of Comprehensive Geoecological Assessment of Urbanized Territory in the Coastal Zone: Ecological and Economic Aspects. Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University, 38: 189–201 (in Russian).

Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Yu., Tsybenov Yu.B., Korsunova Ts.D.-Ts. 2024. Carbon Sequestration by Ecosystems of Cold Territories of Transbaikalia. Agrochemistry, 12: 48–53 (in Russian). https://doi.org/10.31857/S0002188124120074

Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., … Lapshina E. 2021. The Multiscale Monitoring of Peatland Ecosystem Carbon Cycling in the Middle Taiga Zone of Western Siberia: The Mukhrino Bog Case Study. Land, 10(8): 824. https://doi.org/10.3390/land10080824

Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., … Shibistova O.B. 2005. Forests and Swamps of Siberia in the Global Carbon Cycle. Siberian Journal of Ecology, 12(4): 631–649.

Поступила в редакцию 27.04.2026;
поступила после рецензирования 21.05.2026;
принята к публикации 15.06.2026

Received April 27, 2026;
Revised May 21, 2026;
Accepted June 15, 2026

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лебедев Эдуард Андреевич, аспирант высшей экологической школы, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Eduard A. Lebedev, postgraduate student, Higher School of Ecology, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia