

Индикаторы риска негативных реакций полесских ландшафтов на изменения климата

А. П. Гусев ✉

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь
(246019, г. Гомель, ул. Советская, 104)

Аннотация. Цель – разработать систему индикаторов для оценки риска негативных реакций ландшафтов на изменения климата.

Материалы и методы. Район исследований – восточная часть Полесской ландшафтной провинции. Информационная база: среднемесячные данные по температуре и осадкам 6 метеостанций (2000-2021 гг.); результаты космической съемки радиоспектрометра MODIS спутника Terra (MOD13Q1, MCD64A); тематические карты (ландшафтов, почвенного покрова, растительности).

Результаты и обсуждение. Разработан комплекс индикаторов негативных реакций ландшафтов на климатические изменения, включающий показатели снижения продуктивности, ветровой эрозии, пожаров, инвазий чужеродных растений. Оценен риск негативных климатогенных реакций полесских природно-антропогенных ландшафтов. Ландшафты с высоким риском занимают 2,7%, со средним риском – 19,5%, с низким и очень низким риском – 78,0% территории. Определены особенности климатогенных реакций родов ландшафтов.

Выводы. Наиболее уязвимы к климатическим изменениям сельскохозяйственные ландшафты, представленные пахотными вторично-моренным и моренно-зандровыми родами. Наименее уязвимы к климатическим изменениям – лесные ландшафты, представленные аллювиальными террасированными, озерно-аллювиальными, озерно-болотными родами.

Ключевые слова: изменения климата, климатогенные реакции, оценка риска, индикаторы, природно-антропогенные ландшафты.

Для цитирования: Гусев А. П. Индикаторы риска негативных реакций полесских ландшафтов на изменения климата // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 4, с. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/15-22>

ВВЕДЕНИЕ

Полесская ландшафтная провинция – наиболее чувствительный к изменениям климата регион Беларуси [6]. Согласно инструментальным наблюдениям в 1981-2015 годах на территории Беларуси температура воздуха превысила климатическую норму на 1,3 °С. Если в 1950-1980-х годах суммы активных температур (>10 °С) на территории полесских ландшафтов составляли 2400-2600, то в 2000-2010 годах – 2600-2800 градусов. В результате климатических изменений здесь образовалась новая агроклиматическая область, для которой характерна самая короткая и теплая зима и наиболее продолжительный вегетационный период по сравнению с другими регионами Беларуси [5]. Соглас-

но прогнозу изменений климата Беларуси до 2035 года повышение среднегодовой температуры составит 0,5-0,7 °С. В зимний период сократится число дней с отрицательной температурой, в летний период увеличится количество жарких дней. Будет меняться режим увлажнения: ожидается увеличение количества осадков в зимний и весенний сезоны, возрастет количество влажных дней, с другой стороны – произойдет рост продолжительности засушливых периодов летом [1].

В связи с этим учет изменений климата необходим при прогнозной оценке ландшафтно-экологических тенденций, то есть направленности пространственно-временных изменений экологического состояния геосистем Полесья [2, 3].

© Гусев А. П., 2023

✉ Гусев Андрей Петрович, e-mail: andi_gusev@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Целью работы являлась оценка риска негативных климатогенных реакций полесских ландшафтов на основе комплекса индикаторов. Решались следующие задачи: разработка методики оценки риска негативных климатогенных реакций ландшафтов; оценка климатогенного риска родов полесских ландшафтов; разработка мер по снижению риска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район исследований находится на юго-востоке Беларуси (рис.) и представляет собой восточную часть Полесской ландшафтной провинции подзоны

полесских (широколиственно-лесных) ландшафтов. Природно-ландшафтная структура региона на уровне родов природных ландшафтов, согласно классификации ландшафтов Беларуси [8], представлена водно-ледниковыми (36,2% территории); озерно-аллювиальными (21,1%); аллювиальными террасированными (17,4%), озерно-болотными (7,9%), пойменными (7,8%), моренно-зандровыми (7,8%), холмисто-моренно-эрозионными (1,1%) и вторично-моренными (0,7%) ландшафтами. Выделы родов ландшафтов выступали операционными территориальными единицами (ОТЕ).



Рис. Местоположение района исследований в пределах Беларуси
Fig. [Location of the study area within Belarus]

Вследствие значительной антропогенной трансформации полесские ландшафты считают природно-антропогенными ландшафтами (ПАЛ), которые классифицируются в зависимости от соотношения пахотных, луговых, техногенных и лесных геосистем. В регионе территориально доминируют три класса ПАЛ: сельскохозяйственные, сельскохозяйственно-лесные и лесные [8].

Оценка риска негативных климатогенных реакций ландшафтов учитывает четыре ландшафтно-экологических процесса, прямо или косвенно связанных с климатическими изменениями: 1) снижение продуктивности (диагностируется по NDVI – вегетационному индексу, вычисляемому

на основе космической съемки в красном и ближнем инфракрасном диапазонах) – ведущий индикатор риска, так как продуктивность является фундаментальной экологической характеристикой ландшафтов, от которой зависят многие другие их свойства и процессы [7, 11]; 2) ветровая эрозия (дефляция) как наиболее распространенный экзогенный геологический процесс в регионе, что обусловлено песчаной литогенной основой многих полесских ландшафтов и широким развитием осушительной мелиорации; 3) пожары как наиболее важный экологический процесс, влияющий на состояние и динамику растительного покрова, лесные ресурсы, биологические разнообразие;

4) инвазии чужеродных видов как процесс, оказывающий непосредственный негативный эколого-экономический (потери сельского хозяйства от сорняков, затраты на борьбу) и эколого-санитарный (обострение аллергических заболеваний, от-

равления) эффекты, так и процесс, влияющий на биологическое разнообразие и нарушающий ход восстановительных сукцессий.

В качестве индикаторов риска использовались показатели, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Индикаторы риска негативных реакций ландшафтов на климатические изменения
[Table 1. Risk Indicators for Negative Landscape Responses to Climate Change]

| Процесс / Process | Индикатор риска / Risk indicator | Риск / Risk | | | |
|--------------------------|---|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| | | Очень низкий / Very low | Низкий / Low | Средний / Medium | Высокий / High |
| Снижение продуктивности | Тренд NDVI | Положительный достоверный | Положительный недостоверный | Отрицательный недостоверный | Отрицательный достоверный |
| | Корреляция NDVI с температурой и осадками | Отсутствует | Положительная с температурой | Положительная с осадками | Отрицательная с температурой и положительная с осадками |
| Ветровая эрозия | Удельная площадь сильноэродированных почв, % | <1,0 | 1-2,5 | 2,5-5 | >5 |
| | Удельная площадь сильнодефляционно-опасных почв, % | <5,0 | 5,0-25,0 | 25,0-50,0 | >50,0 |
| Пожары | Удельная площадь гарей за 10 лет, % | <0,5 | 0,5-1,0 | 1,0-2,5 | >2,5 |
| | Удельная площадь лесов с высокой пожарной опасностью, % | <5,0 | 5,0-25,0 | 25,0-50,0 | >50,0 |
| Инвазии чужеродных видов | Удельная площадь пахотных и техногенных геосистем, % | <25 | 25-50 | 50-75 | >75 |
| | Плотность транспортных коммуникаций, км/км ² | <0,05 | 0,05-1,00 | 1,00-1,50 | >1,50 |

Данные индикаторы оценивали в баллах, выделяя 4 категории риска: «очень низкий», «низкий», «средний» и «высокий». Для интегральной оценки рассчитывался показатель общего риска негативных климатогенных реакций – P, определяемый как средняя балльная оценка по всем индикаторам. Градации P: очень низкий – <0,10; низкий – 0,10-0,25 – низкий; 0,25-0,50 – средний; >0,50 – высокий.

В качестве информационной базы использованы: результаты космической съемки радиоспектрометра MODIS спутника Terra в виде продуктов MOD13Q1 (растр с пространственным разрешением 250 м, скомпонованный из максимальных

значений NDVI за 16 суток) и MCD64A (растр с пространственным разрешением 500 м, содержащий информацию о выгоревших областях) за 2000-2021 гг.; данные метеостанций Гомель, Житковичи, Брагин, Октябрь, Василевичи, Жлобин за 2000-2021 годы (средняя температура лета, летнее количество осадков, средняя температура года, годовое количество осадков); веб-картографический сервис OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>); веб-картографический сервис «Публичная кадастровая карта Республики Беларусь» (<https://map.pca.by/>); тематические карты масштаба 1:500000 (ландшафтная, почвенная, почвенно-эрозионная, растительности).

Построение векторных и растровых слоев ландшафтов, индикаторов, операции зональной статистики осуществлялись в программе QGIS 3.8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенностью изменений климата в полесских ландшафтах является увеличение температур при неизменности или незначительном росте количества осадков, что соответственно приводит к снижению влажности климата [6]. Такие изменения сопровождаются увеличением числа и продолжительности атмосферной и почвенной засух, а также, вероятно, вызывают рост интенсивности неблагоприятных метеорологических явлений (сильные ветры, шквалы, смерчи, град, грозы, ливневые осадки). Вместе с последствиями широкомасштабной осушительной мелиорации полесских ландшафтов (пик которой пришелся на 1960-1970-е годы) это привело к снижению уровня грунтовых вод и падению водности рек.

Снижение продуктивности (диагностируется по величине NDVI, которая имеет высокую степень корреляции как с валовой, так и с чистой первичной продукцией [11]) ландшафтов может быть обусловлено как прямым воздействием неблагоприятных метеорологических явлений (прежде всего засухи), так и косвенным – активизацией таких процессов, как дефляция, пожары и вторжения чужеродных видов.

В пахотных геосистемах снижение продуктивности отражает снижение урожайности сельскохозяйственных культур за счет засухи и других неблагоприятных метеоявлений, вторжения чужеродных сорняков, уменьшение плодородия почв в процессе дефляции. В лесных геосистемах негативное влияние климатических изменений выражается в ослаблении жизненного состояния и повреждении древостоев пожарами, вредителями, неблагоприятными метеоявлениями; в нарушении естественного возобновления – пожарами, чужеродными видами-трансформерами. Так, в последние 10 лет на неблагоприятные погодные условия приходится 80,5%, а на пожары 10% от всей площади погибших древесных насаждений. В луговых геосистемах климатогенные реакции проявляются как ухудшение кормовых свойств и уменьшение биоразнообразия при инвазиях чужеродных видов и пожарах.

Для оценки риска снижения продуктивности изучался тренд усредненных за летний сезон значений NDVI в 2000-2021 годах в пределах ОТЕ (оценивались статистическая значимость уравнения тренда и величина коэффициента тренда).

Чувствительность ландшафтов в пределах ОТЕ к климатическим изменениям определялась с помощью корреляционного анализа NDVI со средней температурой лета и летним количеством осадков (по величине и статистической значимости коэффициента ранговой корреляции Спирмена).

Более ранними исследованиями показано, что разные типы локальных геосистем полесских ландшафтов отличаются по чувствительности к климатическим изменениям. Так, наиболее чувствительны к климатическим факторам пахотные геосистемы, NDVI которых имеет положительную корреляцию с количеством осадков и отрицательную с температурами. В лесных и болотных геосистемах статистически достоверная корреляция колебаний NDVI с летними температурами и осадками не установлена [10].

Риск пожаров оценивался по удельной площади гарей, образовавшихся за 10 лет (по данным MCD64A), и по удельной площади лесов I и II классов пожарной опасности (сосняки лишайниковые, вересковые, брусничные, мшистые; мелиорированные сосняки багульниковые, сфагновые, осоково-сфагновые; хвойные молодняки всех типов леса; вырубки сосняков, в % от общей площади лесов).

Риск ветровой эрозии определялся по тематическим картам (почвенной, почвенно-эрозионной и растительности), на основе которых выявлялись ареалы сильноэродированных почв и сильнодефляционно-опасных почв (осушенные торфяно-болотные, автоморфные рыхлопесчаные).

Риск инвазий чужеродных растений оценивался по факторам, обуславливающим уязвимость (инвазибельность [9]) ландшафтов к этому процессу – по удельной площади пахотных и техногенных геосистем (отличаются максимальной инвазибельностью и являются очагами распространения чужеродных видов) и плотности транспортных коммуникаций международного и республиканского значения (существенно влияет на скорость и направления миграции чужеродных инвайдеров).

Рассмотрим результаты оценки рисков негативных климатогенных реакций родов полесских ландшафтов (табл. 2). Рода ландшафтов различаются по климатогенному риску, что обусловлено как свойствами их природной подсистемы, так и особенностями антропогенного преобразования. Высокий уровень риска характерен для наиболее трансформированных ландшафтов (распаханность – 60,3-73,3%; лесистость – 3,3-12,6%; застроенные и нарушенные земли – 17,8-22,3%) – вторично-моренного и моренно-зандрового сельскохозяйствен-

ных ландшафтов, занимающих 2,7% площади региона. Средний уровень климатогенного риска от-

мечается на 19,3% площади региона (в основном водно-ледниковые и пойменные ландшафты).

Таблица 2

Оценка общего риска негативных климатогенных реакций родов ландшафтов
(в % от общей площади рода)

[Table 2. Assessment of the overall risk of negative climatogenic reactions of landscape species
(in % of the total area of the species)]

| Род ландшафта / Landscape species | Риск / Risk | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|------------------|----------------|
| | Очень низкий / Very low | Низкий / Low | Средний / Medium | Высокий / High |
| Холмисто-моренно-эрозионный | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| Вторично-моренный | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| Моренно-зандровый | 0,0 | 74,8 | 0,0 | 25,2 |
| Водно-ледниковый | 39,9 | 32,4 | 27,7 | 0,0 |
| Аллювиальный террасированный | 28,2 | 60,4 | 11,4 | 0,0 |
| Озерно-аллювиальный | 26,7 | 73,3 | 0,0 | 0,0 |
| Озерно-болотный | 12,7 | 78,1 | 9,2 | 0,0 |
| Пойменный | 6,0 | 46,5 | 47,5 | 0,0 |
| Регион | 24,6 | 53,4 | 19,3 | 2,7 |

Для значительной части ландшафтов региона риск оценивается как низкий (53,4%) и очень низкий (24,6%). Наименее чувствительными к климатическим изменениям следует признать холмисто-моренно-эрозионные, озерно-аллювиальные, отчасти озерно-болотные и аллювиальные террасированные ландшафты. Выделы этих ландшафтов отнесены к сельскохозяйственно-лесным и лесным классам природно-антропогенных ландшафтов.

Рода ландшафтов характеризуются различиями в климатогенных реакциях, обусловленные особенностями их наиболее неустойчивых компонентов.

Высокий риск снижения продуктивности отмечен только в одном выделе моренно-зандрового ландшафта, характеризующегося доминированием пахотных геосистем (73,3%), на долю которого приходится всего лишь 2,1% площади региона. Существенно больше распространены ландшафты со средним уровнем риска снижения продуктивности – 34,7% площади региона. К ним относятся вторично-моренные, холмисто-моренно-эрозионные, озерно-аллювиальные (60-100% площади этих родов), в меньшей степени – пойменные, водно-ледниковые, аллювиальные террасированные и озерно-болотные (25-50% площади).

Оценка риска пожаров показывает, что наиболее чувствительными к данному фактору являются пойменные ландшафты (79,1% – высокий риск), что обусловлено взаимодействием антропогенных и климатических факторов, включающих сложившуюся практику весенних палов

травянистой растительности; менее строгие (по сравнению с лесным фондом) противопожарные меры и контроль; уменьшение увлажнения почв в связи быстрым таянием и небольшими объемами снегового покрова; пересыхание пойменных водоемов и болот по причине снижением водности рек и уровней грунтовых вод. Риск пожаров, обусловленный климатическими изменениями, возрастает также в моренно-зандровых и аллювиальных террасированных ландшафтах (соответственно 49,2 и 46,4% площади – высокий риск). В моренно-зандровых ландшафтах это обусловлено сильной фрагментацией лесного покрова и преобладанием в нем сосновых лесов (часто высаженных на бывших сельскохозяйственных землях), подверженных усыханию и рекреационной нагрузке. В аллювиальных террасированных ландшафтах леса I и II класса опасности составляют, как правило, более 50% всего лесного покрова. Наименьший риск пожаров характерен для озерно-аллювиальных и озерно-болотных ландшафтов, в которых сохранились крупные массивы неосушенных мелколиственных (черноольховых и пушистоберезовых) лесов и болот.

Риск ветровой эрозии максимален в озерно-болотных ландшафтах, где широко распространены осушенные торфяно-болотные почвы, используемые в сельском хозяйстве (40-60% от общей площади), а также в староосвоенных моренно-зандровых ландшафтах, часть которых находится в пахотной эксплуатации с XVI века. Минимальная

опасность активизации ветровой эрозии характерна для пойменных, вторично-моренных и холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов.

Риск инвазий чужеродных растений максимален во вторично-моренном и моренно-зандровом ландшафтах, в пределах выделов которых находятся города Речица и Гомель соответственно (2,7% общей площади региона). Эти участки являются плацдармами развития инвазии теплолюбивых чужеродных растений в сопредельные ландшафты. В настоящее время зафиксировано расширение ареалов таких видов, как *Ambrosia artemisiifolia*, *Solidago canadensis*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*.

В качестве мер по снижению риска негативных последствий изменений климата в полесских ландшафтах предлагается: оптимизация породного состава древесных насаждений (исключить засухоустойчивые породы); оптимизация состава выращиваемых сельскохозяйственных культур (расширение площадей под кукурузу, сою, подсолнечник, просо, сорго) и корректировка сроков сельскохозяйственных работ (позволит сохранить высокую урожайность при неблагоприятных погодно-климатических условиях); создание разновозрастных и смешанных по составу насаждений (позволит повысить устойчивость насаждений к воздействиям ветровалов, болезням, вредителям, снизит риск пожаров); оперативная рекультивация нарушенных земель с помощью создания луговых фитоценозов из местных видов трав и лесопосадок (позволит ликвидировать очаги эрозии, ограничит инвазии чужеродных растений); повторное заболачивание осушенных торфоразработок (снизит риск пожаров); противоэрозионное и почвозащитное облесение (ликвидация очагов развития эрозионных процессов, улучшение микроклиматических условий).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: высокий уровень риска негативных реакций на изменения климата характерен для наиболее трансформированных ландшафтов – вторично-моренного и моренно-зандрового сельскохозяйственных ландшафтов, занимающих 2,7% площади региона, а наименее чувствительны к климатическим изменениям сельскохозяйственно-лесные и лесные холмисто-моренно-эрозионные, озерно-аллювиальные, отчасти озерно-болотные и аллювиальные террасированные ландшафты. Высокий климатогенный риск

снижения продуктивности имеет пахотный моренно-зандровый ландшафт. Риск пожаров максимален в пойменных, отчасти в моренно-зандровых и аллювиальных террасированных ландшафтах. Риск ветровой эрозии максимален в озерно-болотных ландшафтах с осушенными торфяно-болотными почвами и в староосвоенном пахотном моренно-зандровом ландшафте. Высокий риск инвазий чужеродных растений при изменении климата характерен для сельскохозяйственных вторично-моренного и моренно-зандрового ландшафта. Риск негативных климатогенных реакций полесских ландшафтов может быть снижен реализацией комплекса специальных оптимизационных мер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилович И. С., Мельник В. И., Гейер Б. Современное изменение климата Белорусского Полесья: причина, следствия, прогнозы // *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*, 2020, № 1, с. 3-13.
2. Гусев А. П. Индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере Восточной части Белорусского Полесья) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2018, № 2, с. 28-33.
3. Гусев А. П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2020, № 1, с. 101-107.
4. Гусев А. П. NDVI как индикатор климатогенных реакций геосистем (на примере юго-востока Беларуси) // *Региональные геосистемы*, 2022, т. 46, № 2, с. 200-209.
5. Логинов В. Ф. Климатические условия Беларуси за период инструментальных наблюдений // *Наука и инновации*, 2016, № 9, с. 25-29.
6. Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Бондаренко Ю. А. Взаимосвязь современных изменений испарения и количества осадков в южных регионах Беларуси // *Природопользование*, 2020, № 1, с. 20-29.
7. Коломыц Э. Г. Лесные экосистемы Волжского бассейна в условиях глобального потепления (локальный экологический прогноз) // *Экология*, 2009, № 1, с. 9-21.
8. Марцинкевич Г. И. *Ландшафтоведение*. Минск: БГУ, 2007. 206 с.
9. Alpert P., Bone E., Holzapfel C. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants // *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 2000, vol. 3, pp. 52-66.
10. Gusev A. P. Impact of Climate Change on Ecosystem Productivity of the Belarusian Polesia According to Remote Data // *Contemporary Problems of Ecology*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 345-352.
11. Yengoh G. T. et al. *The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land*

degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations. Lund University Centre for Sustainability Studies. LUCSUS, 2014. 80 p.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 07.09.2022

Принята к публикации: 28.11.2023

UDC 911.2+504.54

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/15-22>

Risk Indicators of Negative Reactions of the Polesia Landscapes to Climate Change

A. P. Gusev ✉

*Francisk Skorina Gomel State University, Belarus
(104, Sovetskaya str., Gomel, 246019)*

Abstract. The purpose is to develop a system of indicators to assess the risk of negative landscape responses to climate change.

Materials and methods. The study area is the eastern part of the Polesia landscape province. Information base: monthly average data on temperature and precipitation from 6 weather stations (2000-2021); results of space imagery of the MODIS radiometer of the Terra satellite (MOD13Q1, MCD64A); thematic maps (landscapes, soil cover, vegetation).

Results and discussion. A complex of indicators of negative responses of landscapes to climate change has been developed, including indicators of reduced productivity, wind erosion, fires, and invasions of alien plants. The risk of negative climatogenic reactions of Polesia natural and anthropogenic landscapes was assessed. It was found that landscapes with high risk occupy 2,7%, with medium risk – 19,5%, with low and very low risk – 78,0 % of the territory. The features of climatogenic reactions of landscape species are determined.

Conclusions. The most vulnerable to climatic changes are agricultural landscapes, represented by arable secondary moraine and moraine outwash species. The least vulnerable to climate change are forest landscapes represented by alluvial terraced, lake-alluvial, lake-swamp species.

Key words: climate change, climatogenic responses, risk assessment, indicators, natural and anthropogenic landscapes.

For citation: Gusev A. P. Risk Indicators of Negative Reactions of the Polesia Landscapes to Climate Change. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2023, no. 4, pp. 15-22 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/15-22>

REFERENCES

1. Danilovich I. S., Melnik V. I., Geyer B. Sovremennyye izmeneniya klimata Belorusskogo Poles'ya: prichina, sledstviya, prognozy [Modern climate changes in the Belarusian Polesye: cause, consequences, forecasts]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya*, 2020, no. 1, pp. 3-13. (In Russ.)
2. Gusev A. P. Indikatory landshaftno-ekologicheskikh tendentsiy (na primere Vostochnoy chasti Belorusskogo Poles'ya) [Indicators of landscape-ecological trends (on the example of the Eastern part of the Belarusian Polissya)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2018, no 2, pp. 28-33. (In Russ.)
3. Gusev A. P., Izmeneniya NDVI kak indikator dinamiki ekologicheskogo sostoyaniya landshaftov (na primere vostochnoi chasti Poleskoi provintsii) [Changes in NDVI as an indicator of the dynamics of the ecological state of landscapes (on the example of the eastern part of the Polesky province)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2020, no. 1, pp. 101-107. (In Russ.)
4. Gusev A. P. NDVI kak indikator klimatogennykh reaktsiy geosistem (na primere yugo-vostoka Belarusi)

© Gusev A. P., 2023

✉ Andrei P. Gusev, e-mail: andi_gusev@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[NDVI as an indicator of climatogenic responses of geosystems (on the example of the southeast of Belarus)]. *Regional'nyye geosistemy*, 2022, vol. 46, no. 2, pp. 200-209. (In Russ.)

5. Loginov V.F. Klimaticheskie usloviya Belarusi za period instrumental'nykh nablyudenii [Climatic conditions of Belarus for the period of instrumental observations]. *Nauka i innovatsii*, 2016, no. 9, pp. 25-29. (In Russ.)

6. Lysenko S.A., Loginov V.F., Bondarenko Yu.A. Vzaimosvyaz' sovremennykh izmeneniy ispareniya i kolichestva osadkov v yuzhnykh regionakh Belarusi [Relationship between modern changes in evaporation and precipitation in the southern regions of Belarus]. *Prirodopol'zovaniye*, 2020, no. 1, pp. 20-29. (In Russ.)

7. Kolomyts E.G. Lesnyye ekosistemy Volzhskogo basseyna v usloviyakh global'nogo potepeniya (lokal'nyy ekologicheskiy prognoz) [Forest Ecosystems of the Volga Basin in the Conditions of Global Warming (Local Ecological Forecast)]. *Ekologiya*, 2009, no. 1, pp. 9-21. (In Russ.)

8. Martsinkevich G.I. *Landshaftovedeniye* [Landscape science]. Minsk: BGU, 2007. 206 p. (In Russ.)

9. Alpert P., Bone E., Holzapfel C. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 2000, vol. 3, pp. 52-66.

10. Gusev A. P. Impact of Climate Change on Ecosystem Productivity of the Belarusian Polesia According to Remote Data. *Contemporary Problems of Ecology*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 345-352.

11. Yengoh G. T. et al. *The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations*. Lund University Centre for Sustainability Studies – LUCSUS, 2014. 80 p.

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 07.09.2022

Accepted: 28.11.2023

Гусев Андрей Петрович

кандидат геолого-минералогических наук, декан геолого-географического факультета Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь, ORCID: 0000-0002-1169-1172, e-mail: andi_gusev@mail.ru

Andrei P. Gusev

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Dean of the Faculty of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus, ORCID: 0000-0002-1169-1172, e-mail: andi_gusev@mail.ru