

## КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Цель работы – оценка процесса техногенного подтопления с помощью комплекса космических и наземных методов. Объектом исследований является зона влияния полигона твердых коммунальных отходов. В качестве индикаторов процесса подтопления использованы вегетационные индексы (определяются по данным многозональной космической съемки) и удельное электрическое сопротивление компонентов геологической среды (электроразведка). На основе космической съемки выявляются техногенные модификации лесных геосистем, образующиеся в результате подтопления. Величина NDVI по градиенту подтопления снижается в 1.5–2.3 раза, NBR – в 1.8–2.9 раза, SWVI – в 2.4–7.4 (максимум отличий в июне). По градиенту подтопления имеет место увеличение минерализации поверхностных вод в 6.2 раза, а электрическое сопротивление почв снижается на 2–3 порядка, что указывает на загрязнение грунтовых вод свалочным фильтратом.

*Ключевые слова:* подтопление; твердые коммунальные отходы; вегетационные индексы; удельное электрическое сопротивление; резистивиметрия.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2024.1.23.29>

### Введение

Вегетационные индексы, определяемые с помощью многозональной космической съемки, являются важными индикаторами состояния растительного покрова и ландшафтов в целом (Box et al., 1989; Гусев, 2020, 2022). На основе вегетационных индексов можно судить о различных процессах, приводящих к деградации растительности – пожарах, размножении вредителей, воздействии загрязнения атмосферы и т.д. (Yengoh et al., 2014, Miller, Quayle, 2015, Жирин и др., 2016, Gusev, 2022; Prakasam et al., 2022). Однако интерпретация данных космических методов нуждается в привлечении дополнительной информации, основой которой служат наземные наблюдения.

В случае решения ряда задач эффективным дополнением космической съемки будут геоэлектрические исследования (электроразведка), применение которых основано на зависимости удельного электрического сопротивления почв от влажности и содержания солей, а в случае вод – от их минерализации (Электроразведка ..., 2013; Поздняков и др., 2013). Применение геоэлектрических методов в экологических исследованиях апробировано на различных объектах (Муска, Mendecki, 2014; Ofomola, 2015; Гусев и др., 2019;

Sanuade et al., 2022). Актуальной проблемой является рациональное комбинирование космической съемки и наземных геоэлектрических исследований (Гусев, 2023).

Цель исследований – оценка процесса техногенного подтопления в зоне влияния полигона твердых коммунальных отходов с помощью комплекса космической многозональной съемки и наземной электроразведки методом сопротивлений. Решались следующие задачи: изучение изменений растительного покрова под влиянием техногенного подтопления на основе анализа вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI) и выделение техногенных модификаций геосистем; диагностика загрязнения поверхностных вод и почв методом резистивиметрии; оценка изменения влажности почв и горных пород под воздействием подтопления методами резистивиметрии и электрического профилирования.

### Материалы и методы исследования

Район исследований находится на юго-востоке Беларуси (вблизи города Гомеля). Природные лесные геосистемы представлены сосновыми, сосново-широколиственными, широколиственными и мелколиственными лесами. Преобладающие



Рис. 1. Полигон твердых коммунальных отходов  
Fig. 1. Municipal solid waste landfill

породы деревьев – сосна, дуб, граб, клен, липа, береза, осина, ольха черная.

Объект исследований – зона влияния полигона твердых коммунальных отходов (рис. 1). Полигон эксплуатируется с 1969 года. Площадь, занятая отходами, составляет около 12 га, высота отвалов – 10–15 м, объем накопившихся отходов – более 1 млн. м<sup>3</sup>.

Методика исследований включала:

обработку и анализ космических многозональных снимков, расчет вегетационных индексов, характеризующих состояние растительного покрова (NDVI, NBR, SWVI);

резистивиметрию поверхностных вод (в лужах и канавах) и почв;

электрическое профилирование методом сопротивлений на постоянном токе (размеры пита-

ющих линий АВ – 10 и 30 м, приемных линий MN – 3 и 10 м, расстояние между точками измерений – 20 м).

По данным космической съемки выделялись техногенные модификации геосистем (ТМ), характеризующие различные уровни химического загрязнения (ТМ–1, ТМ–2 и фоновая геосистема). Геоэлектрические исследования выполнялись в границах выделенных техногенных модификаций.

В работе использованы данные спутников Sentinel-2 с пространственным разрешением 10–60 м, на основе которых по формулам, приведенным в таблице 1, определялись вегетационные индексы.

Для проведения геоэлектрических работ использована электроразведочная аппаратура ERA-MAX. Для определения электрического сопро-

Таблица 1. Формулы расчета вегетационных индексов  
Table 1. Formulas for vegetation indices calculating

Вегетационный индекс Vegetation index	Формула расчета Calculation formula
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(NIR - R)/(NIR + R)$
NBR (Normalized Burn Ratio)	$(NIR - SWIR2)/(NIR + SWIR2)$
SWVI (Short Wave Vegetation Index)	$(NIR - SWIR1)/(NIR + SWIR1)$

Каналы: NIR – ближний инфракрасный; R – красный; SWIR1 – первый коротковолновой инфракрасный; SWIR2 – второй коротковолновой инфракрасный.

Channels: NIR – near infrared; R – red; SWIR1 – the first shortwave infrared; SWIR2 – second shortwave infrared.

тивления вод и почв использованы портативные резистивиметры. Для обработки и атмосферной коррекции космических снимков, расчета вегетационных индексов, выделения ареалов техногенных модификаций использована геоинформационная система QGIS, для статистической обработки – программы MS Excel и Statistica.

### Результаты и их обсуждение

Полигоны твердых коммунальных отходов являются экологически опасными объектами, оказывающими влияние на окружающий ландшафт и его компоненты: почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, биоту. При деструкции коммунальных отходов образуются биогаз, фильтрационные воды (фильтрат), техногенные свалочные грунты. Инфильтрация дождевых и талых вод в толщу отходов и обогащение их выщелоченными компонентами является причиной образования фильтрата, который проникает в поверхностные и грунтовые воды. Поток фильтрационных вод приводит к поднятию уровня грунтовых вод – техногенному подтоплению близлежащих территорий.

На территории, прилегающей с севера к изучаемому полигону отходов, имеет место развитие техногенного подтопления, обусловленного как потоком фильтрационных вод с отвала, так и нарушением поверхностного стока при строительстве автомобильной трассы международного значения. Подтопление выражается в подъеме уровня грунтовых вод к земной поверхности, в весенний период имеет место разгрузка грунтовых вод на земную поверхность. В результате подтопления в окружающем лесном ландшафте образовались техногенные модификации: ТМ–1 – зона сильного подтопления; ТМ–2 – зона умеренного подтопления. Фоновой геосистемой служит смешанный лиственный лес на дерново-слабоподзолистых оглеенных почвах песчано-супесчаного гранулометрического состава.

Фоновая геосистема и ее техногенные модификации образуют ряд дигрессии растительности, обусловленный влиянием подтопления, каждый член которого индицируется соответствующим диапазоном значений вегетационных индексов.

Поскольку спектрально-отражательные свойства земной поверхности могут существенно меняться в зависимости от колебаний метеорологических условий и сезонной динамики растительности, то наиболее надежным способом является использование серии снимков. В таблице 2 показаны значения вегетационных индексов, рассчитанные по 4 снимкам, сделанным в течение вегетационного периода (с мая по сентябрь). Видно,

что во всех случаях геосистемы, подверженные подтоплению, отличаются существенным снижением значений индексов относительно фона.

Так, величина NDVI по градиенту подтопления снижается в 1.5–2.3 раза, NBR – в 1.8–2.9 раза, SWVI – в 2.4–7.4 раза. Максимальные отличия по всем индексам наблюдаются в июне.

Таким образом, наиболее информативными являются июньские снимки, на которых техногенные модификации отличаются от фоновой геосистемы наиболее четко. Снижение величины вегетационных индексов объясняется деградацией древесного яруса под воздействием подтопления грунтовыми водами. В подтопленных лесах зоны ТМ–1 на сухостой приходится до 50% всех деревьев. В наибольшей степени усохли дуб, граб, береза, ясень, меньшей – ольха черная. Увеличение сухостоя и деревьев с пожелтевшей раньше срока листвой сказывается на объеме зеленой фитомассы, что влияет на величину NDVI. Ухудшение жизненного состояния растительности фиксируют изменения индексов NBR и SWVI.

Путем наземных наблюдений установлено, что в зоне ТМ–1 имеет место разгрузка грунтовых вод на поверхность весной; в летний период

Таблица 2. Изменения вегетационных индексов по градиенту техногенного подтопления в зоне влияния полигона

Table 2. Vegetation indices variation along the technogenic flooding gradient in the impact zone of the landfill

Индекс Index	Градиент подтопления Flooding gradient		
	Фоновая геосистема Background geosystem	ТМ–2	ТМ–1
NDVI	0.88*	0.76	0.48
	0.86**	0.74	0.38
	0.86***	0.80	0.57
	0.81****	0.75	0.51
NBR	0.66	0.53	0.24
	0.66	0.53	0.23
	0.63	0.57	0.35
	0.58	0.51	0.29
SWVI	0.37	0.26	0.07
	0.37	0.26	0.05
	0.31	0.27	0.13
	0.23	0.19	0.07

\*26.05.2018; \*\*20.06.2018; \*\*\*11.08.2018;  
\*\*\*\*20.09.2018

Note: ТМ – technogenic modifications

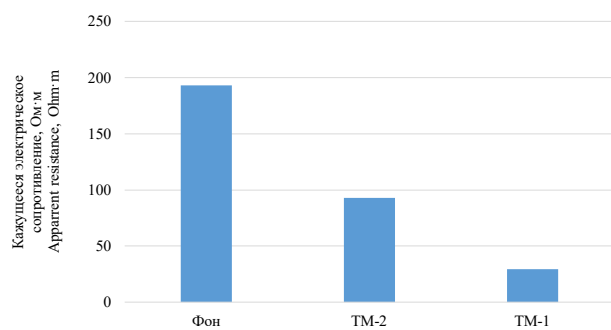


Рис 2. Изменение кажущегося электрического сопротивления по градиенту техногенного подтопления (AB=10 м)

Fig. 2. Change in apparent electrical resistance along the gradient of technogenic flooding (AB=10 m)

лубина залегания уровня грунтовых вод составляет менее 0.5 м. В зоне ТМ-2 глубина залегания уровня грунтовых вод составляет 0.5–1 м летом. В фоновой геосистеме грунтовые воды залегают на глубине более 1.5 м.

Однако, повышение уровня грунтовых вод является не единственной причиной массовой деградации древостоя. Большинство местных деревьев (дуб, ясень, береза) широко встречаются в условиях как болотных, так и пойменных лесов, то есть могут существовать в условиях постоянного или переменного переувлажнения. Поэтому в рассматриваемом случае причиной деградации предполагается подтопление грунтовыми водами, загрязненными свалочным фильтратом. Для проверки этой гипотезы были проведены геоэлектрические исследования.

Электрическое профилирование методом сопротивлений на серии малых разносов питающих линий (AB=10, 30 м) показало снижение кажущегося электрического сопротивления по градиенту подтопления с первых сотен Ом·м в фоновой геосистеме до первых десятков Ом·м в зоне ТМ-1.

Наиболее выраженные изменения характерны для профилирования с использованием разноса AB=10 м, что соответствует эффективной глубине исследования 1–2.5 м (рис. 2).

Для изучаемой территории характерно залегание в верхней части геологического разреза водно-ледниковых песков с прослоями супесей, которые в сухом состоянии имеют высокое сопротивление (сотни Ом·м). Увлажнение песчано-супесчаных пород грунтовыми вод отражается в снижении сопротивления до нескольких десятков Ом·м. Однако, в ряде пунктов отмечается очень низкое кажущееся сопротивление (менее 5 Ом·м), которое не может объясняться увлажнением.

На разносах AB=30 м (эффективная глубина исследования 3–7.5 м) наблюдаются схожие изменения, но с меньшим контрастом по кажущемуся сопротивлению между фоновой экосистемой и ее техногенными модификациями. В фоновой геосистеме кажущееся сопротивление на данной глубине составляет 70–120 Ом·м (соответствует влажным песчано-супесчаным породам), а в зоне ТМ-1 15–40 Ом·м.

Рассмотрим результаты резистивиметрии поверхностных вод и почв (табл. 3). В фоновой геосистеме поверхностные воды имеют электрическое сопротивление 26.5–35.5 Ом·м, что соответствует минерализации 141–189 мг/дм<sup>3</sup>. В зоне ТМ-2 электрическое сопротивление снижается до 7.9–14.7 Ом·м (минерализация 339–634 мг/дм<sup>3</sup>). Зона ТМ-1 отличается наименьшим сопротивлением поверхностных вод – менее 5 Ом·м (минерализация 1020–1100 мг/дм<sup>3</sup>). Таким образом, по градиенту подтопления имеет место увеличение минерализации поверхностных вод в 6.2 раза.

Электрическое сопротивление почв фоновой геосистемы в летний период характеризуется очень высокими значениями (сотни и тысячи

Таблица 3. Изменения удельного электрического сопротивление поверхностных вод и почв по градиенту подтопления, Ом·м

Table 3. Surface waters and soils electrical resistivity variation along the flooding gradient, Ohm·m

Компонент Component	Градиент подтопления Flooding gradient		
	Фоновая геосистема Background geosystem	ТМ-2	ТМ-1
Поверхностные воды Surface waters	29.8±1.5* 26.5–35.5** n=6***	11.7±1.3 7.9–14.7 n=7	4.7±0.1 4.5–4.9 n=6
Почвы (на глубине 5 см) Soils (at a depth of 5 cm)	1924.1±287.2 515.4–5000.0 n=15	183.3±48.3 25.0–370.4 n=7	8.5±0.6 7.7–10.9 n=5

\* среднее значение и его ошибка; \*\* минимальное и максимальные значения; \*\*\* число проб.

\* average value and its error; \*\* minimum and maximum values; \*\*\* number of samples.

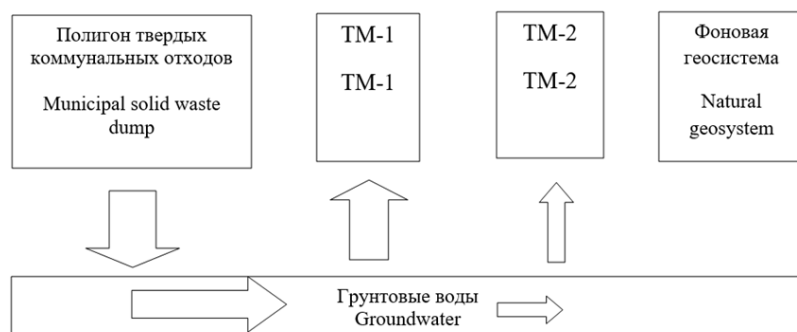


Рис. 3. Схема формирования зоны влияния полигона твердых коммунальных отходов

Fig. 3. Impact zone of a municipal solid waste landfill formation scheme

Ом·м), что обусловлено их низкой влажностью. По градиенту подтопления сопротивление почв изменяется в 226 раз. В зоне ТМ–2 колеблется в пределах от 25.0 до 370.4 Ом·м (снижение сопротивления вероятно обусловлено ростом влажности). В зоне ТМ–1 сопротивление почв снижается до 7.7–10.9 Ом·м. Такое значительное снижение связано как с увеличением влажности, так и с увеличением минерализации почвенной влаги (что соответствует результатам резистивиметрии поверхностных вод).

Таким образом, результаты электрического профилирования, резистивиметрических исследований поверхностных вод и почв показывают, что в зоне влияния полигона твердых коммунальных отходов происходит подтопление грунтовыми водами, загрязненными свалочным фильтратом. По данным электрического профилирования по градиенту подтопления кажущееся сопротивление закономерно снижается как на разнотах АВ=10 м, так и на разнотах АВ=30 м, по данным резистивиметрии минерализация поверхностных вод увеличивается, а сопротивление почв уменьшается, то есть изменения фиксируются как на земной поверхности, так и на глубине залегания водоносного горизонта. Поскольку в строение верхней части (до 10 м) осадочного чехла на изучаемом участке отсутствуют глины, то объяснить существенное снижение электрического сопротивления можно только увеличением минерализации грунтовых вод, то есть их загрязнением.

На основе комплекса исследований схема трансформации компонентов геосистем в зоне влияния полигона твердых коммунальных отходов выглядит следующим образом (рис. 3). От полигона отходов свалочный фильтрат поступает в грунтовые воды, загрязняя их (увеличивается минерализация). Грунтовые воды разгружаются на земной поверхности в зоне ТМ–1, где под воздействием роста влажности и под влиянием токсичных веществ и засоления почв происходит деградация древесной растительности (массовое усыхание, которое сказывается на величине вегетационных индексов). В зоне ТМ–2 воздействие токсичных грунтовых вод снижается и, соответственно, деградация древесной растительности проявляется в меньшей степени.

сичных веществ и засоления почв происходит деградация древесной растительности (массовое усыхание, которое сказывается на величине вегетационных индексов). В зоне ТМ–2 воздействие токсичных грунтовых вод снижается и, соответственно, деградация древесной растительности проявляется в меньшей степени.

### Заключение

Таким образом, комплексные исследования показали, что под воздействием подтопления загрязненными грунтовыми водами в окружающем полигон твердых коммунальных отходов лесном ландшафте формируются техногенные модификации (ТМ–1, ТМ–2), выделяемые и картографируемые по данным космической многозональной съемки (на основе анализа величин вегетационных индексов). Установлено, что кажущееся электрическое сопротивление на эффективной глубине, соответствующей разностям питающих линий АВ=10 м и АВ=30 м, по градиенту подтопления изменяется от первых сотен Ом·м в фоновой геосистеме до первых десятков Ом·м в зоне максимальной трансформации (ТМ–1). При этом минерализация поверхностных вод по градиенту подтопления изменяется в 6.2 раза, превышая в зоне ТМ–1 1000 мг/дм<sup>3</sup>; электрическое сопротивление почв по градиенту подтопления снижается в 226 раз и в зоне ТМ–1 находится в пределах 7.7–10.9 Ом·м.

Деградация древесной растительности (усыхание деревьев, которое отражается на величине вегетационных индексов) объясняется разгрузкой загрязненных свалочным фильтратом в зоне ТМ–1 и в меньшей степени в зоне ТМ–2.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Х23КИ-022).*

### Список литературы

1. Гусев А.П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2020. №1. С. 101–107. <https://doi.org/10.17308/geo.2020.1/2667>.
2. Гусев А.П. Оценка риска негативных климатогенных реакций полесских ландшафтов // Российский журнал прикладной экологии. 2022. №4. С. 13–19. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.13.19>.
3. Гусев А.П., Верутин М.Г., Калейчик П.А., Прилуцкий И.О., Шаврин И.А. Геоэлектрическая диагностика

загрязнения геологической среды в зоне влияния полигона токсичных отходов // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18, №1. С. 79–85.

4. Гусев А.П. Комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов при диагностике химического загрязнения геологической среды // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. 2023. №3. С. 133–140. doi: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/133-140>.

5. Жирин В.М., Князева С.В., Эйлина С.П. Многолетняя динамика вегетационных индексов темнохвойных лесов после повреждения сибирским шелкопрядом // Лесоведение. 2016. №1. С. 3–14.

6. Поздняков А.И., Шейн Е.В., Федотова А.В., Шваров А.П., Яковлева Л.В. Оценка засоления почв и грунтовых вод методами электрического сопротивления. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2013. 71 с.

7. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Т. 2. Малоглубинная электроразведка. М.: Изд-во МГУ, 2013. 123 с.

8. Box E.O., Holben B.N., Kalb V. Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO<sub>2</sub> flux // *Vegetatio*. 1989. Vol. 80. P. 71–89.

9. 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, №4. P. 345–352. doi: [10.1134/S1995425522040060](https://doi.org/10.1134/S1995425522040060).

10. Miller J.D., Quayle B. Calibration and validation of immediate post-fire satellite-derived data to three severity metrics // *Fire ecology*. 2015. Vol. 11, №2. P. 12–30. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1102012>.

11. Mycka M., Mendecki M.J. An application of geoelectrical methods for contamination plume recognition in Urbanowice waste disposal // *Contemporary trends in geoscience*. 2014. Vol. 2. P. 42–47. <https://doi.org/10.2478/ctg-2014-0006>.

12. Ofomola M.O. Mapping of aquifer contamination using geoelectric methods at a municipal solid waste disposal site in Warri, Southern Nigeria // *Journal of applied geology and geophysics*. 2015. Vol. 3. P. 39–47. <https://doi.org/10.9790/0990-03313947>.

13. Prakasam C., Aravinth R., Nagarajan B. Estimating NDVI and LAI as a precursor for monitoring air pollution along the BBN industrial corridor of Himachal Pradesh, India // *Proceedings*. 2022. Vol. 61, №2. P. 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.360>.

14. Sanuade O.A., Arowoogun K.I., Amosun J.O. A review on the use of geoelectrical methods for characterization and monitoring of contaminant plumes // *Acta geophysica*. 2022. Vol. 70. P. 2099–2117. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00858-9>.

15. Yengoh G.T., Dent D., Olsson L., Tengberg A.E., Tucker C.J. 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.

## References

1. Gusev A.P. *Izmeneniya NDVI kak indikator dinamiki ekologicheskogo sostoyaniya landshaftov (na primere vostochnoy chasti Poleskoy 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. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. 2020. No 1. P. 101–107. <https://doi.org/10.17308/geo.2020.1/2667>.

2. Gusev A.P. *Otsenka riska negativnykh klimatogennykh reaktivnykh polesskikh landshaftov* [Assessing the risk of negative climatogenic reactions in Polesia landscapes] // *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian journal of applied ecology]. 2022. No 4. P. 13–19. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.13.19>

3. Gusev A.P., Verutin M.G., Kaleichik P.A., Prilutsky I.O., Shavrin I.A. *Geoelektricheskaya diagnostika zagryazneniya geologicheskoy sredy v zone vliyaniya poligona toksichnykh otkhodov* [Geoelectric diagnostics of geological environment pollution in the zone of influence of a toxic waste site] // *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Bulletin of Perm University. Geology]. 2019. Vol. 18, No 1. P. 79–85.

4. Gusev A.P. *Kompleksirovaniye kosmicheskoy syemki i geoelektricheskikh metodov pri diagnostike khimicheskogo zagryazneniya geologicheskoy sredy* [Integration of space imaging and geoelectric methods in the diagnosis of chemical contamination of the geological environment] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Bulletin of Voronezh State University. Series: Geology]. 2023. No 3. P. 133–140. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/133-140>.

5. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. *Mноголетnyaya dinamika vegetatsionnykh indeksov temnokhvoynykh lesov posle povrezhdeniya sibirskim shelkopryadom* [Long-term dynamics of vegetation indices of dark coniferous forests after damage by the Siberian silkworm] // *Lesovedeniye* [Forestry]. 2016. No 1. P. 3–14.

6. Pozdnyakov A.I., Shein E.V., Fedotova A.V., Shvarov A.P., Yakovleva L.V. *Otsenka zasoleniya pochv i gruntovykh vod metodami elektricheskogo soprotivleniya* [Assessment of soil and groundwater salinity using electrical resistance methods]. Astrakhan: Astrakhan University, 2013. 71 p.

7. *Elektrozvedka: posobiye po elektrozvedochnoy praktike dlya studentov geofizicheskikh spetsial'nostey. Tom 2. Maloglubinnaya elektrozvedka* [Electrical prospecting: a manual on electrical prospecting practice for students of geophysical specialties. Vol. 2. Shallow electrical prospecting]. Moscow: Moscow state university, 2013. 123 p.

8. Box E.O., Holben B.N., Kalb V. Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO<sub>2</sub> flux // *Vegetatio*. 1989. Vol. 80. P. 71–89.

9. 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. P. 345–352. doi: [10.1134/S1995425522040060](https://doi.org/10.1134/S1995425522040060).

10. Miller J.D., Quayle B. Calibration and validation of immediate post-fire satellite-derived data to three severity metrics // *Fire ecology*. 2015. Vol. 11, No 2. P. 12–30. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1102012>.

11. Mycka M., Mendecki M.J. An application of geoelectrical methods for contamination plume recognition in Urbanowice waste disposal // *Contemporary trends in geoscience*. 2014. Vol. 2. P. 42–47. <https://doi.org/10.2478/ctg-2014-0006>.

12. Ofomola M.O. Mapping of aquifer contamination using geoelectric methods at a municipal solid waste disposal site in Warri, Southern Nigeria // *Journal of applied geology and geophysics*. 2015. Vol. 3. P. 39–47. <https://doi.org/10.9790/0990-03313947>.

13. Prakasam C., Aravinth R., Nagarajan B. Estimating NDVI and LAI as a precursor for monitoring air pollution along the BBN industrial corridor of Himachal Pradesh, India // *Proceedings*. 2022. Vol. 61, No 2. P. 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.360>.

14. Sanuade O.A., Arowoogun K.I., Amosun J.O. A review on the use of geoelectrical methods for characterization and monitoring of contaminant plumes // *Acta geophysica*. 2022. Vol. 70.

P. 2099–2117. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00858-9>.

15. Yengoh G.T., Dent D., Olsson L., Tengberg A.E., Tucker C.J. 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.

---



---

**Gusev A.P., Kulyba L.I. Space imaging and geo-electrical methods complexing when assessing technogenic flooding in the impact zone of a solid municipal waste dump.**

The purpose of the work was to assess the process of technogenic flooding using a complex of space and ground-based methods. The object was the impact zone of the municipal solid waste dump. We used vegetation indices (determined from multispectral

satellite imaging data) and electrical resistivity of the components of the geological environment (electrical prospecting) as indicators of the flooding process. Based on satellite photography, technogenic modifications of forest geosystems resulting from flooding were identified. The NDVI value along the flooding gradient decreased by 1.5–2.3 times, NBR – by 1.8–2.9 times, SWVI – 2.4–7.4 (maximum differences in June). It has been established that along the flooding gradient there was an increase in the mineralization of surface water by 6.2 times. Electrical resistance of soils decreased from hundreds and thousands of Ohm m to a few Ohm m. Those facts indicated the contamination of groundwater with landfill leachate.

*Keywords:* flooding; municipal solid waste; vegetation indices; electrical resistivity; resistivity measurement.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

**Информация о статье / Information about the article**

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 31.01.2024

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication: 29.02.2024

**Информация об авторах**

Гусев Андрей Петрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, E-mail: andi\_gusev@mail.ru.

Кулыба Елизавета Игоревна, студент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, E-mail: lizavetakulyba@gmail.com.

**Information about the authors**

Andrei P. Gusev, Ph.D. in Geology, Associate Professor, Head of Department, F. Skorina Gomel State University, 104, Sovetskaya st., Gomel, 246019, Belarus, E-mail: andi\_gusev@mail.ru.

Lizaveta I. Kulyba, student, F. Skorina Gomel State University, 104, Sovetskaya st., Gomel, 246019, Belarus, E-mail: lizavetakulyba@gmail.com.

