Анализ экологической опасности снежных отвалов на примере города Томска

О. А. Пасько, О. С. Токарева, Э. А. Ибрагимов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск, 634030, Россия*

E-mails: oap@tpu.ru, ost@tpu.ru

Вопросы размещения и эксплуатации снежных отвалов крайне актуальны для регионов России с продолжительным залеганием снега. При их разработке, как правило, игнорируются негативные антропогенные факторы. В статье приведён анализ влияния снежных отвалов на окружающую среду как экологически опасных объектов. По данным дистанционного мониторинга и наземного обследования территорий снежных отвалов показано бесконтрольное изменение их площадей в Томске. Выявлена деградация почвенно-растительного покрова, обусловленная изменением температурного и водного режима поверхности. По данным теплового канала камеры TIRS спутника Landsat-8 построены температурные профили территорий снежных отвалов и фоновых участков. Особенности прогревания поверхности снежных отвалов выражаются в центростремительном нарастании значений вегетационных индексов и температуры, а также в более быстром росте температуры их поверхности в летний период. Описан комплекс негативных факторов влияния снежных отвалов на близлежащие территории, в числе которых: сток больших объёмов воды во время таяния снега, размыв и смыл почвы, оврагообразование, затопление и подтопление домов, неконтролируемое загрязнение и захламливание почвы и поверхностных вод.

Ключевые слова: вегетационный индекс, водный индекс, деградация, дистанционное зондирование, мониторинг, оврагообразование, почва, растительность, снежный отвал, температурный профиль

Одобрена к печати: 30.04.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-135-144

Введение

Одной из основных проблем урбанизированных территорий России является удаление снега в зимний период. Например, в Томске средняя продолжительность залегания снежного покрова составляет около полугода (178 дней), дата его появления — 15 октября, дата схода — 18 апреля. Годовое количество твёрдых осадков достигает 211 мм (География..., 2016). Убранный снег вывозят за черту города на специально отведённые площадки, так называемые снежные отвалы (СО). В России требования и нормативы к их обустройству и эксплуатации отсутствуют (Об утверждении..., 2016). Считается, что снег — одно из естественных состояний воды, поэтому отходом не является (Об охране..., 2002). Упускается из виду, что снег, вывозимый с улиц и дорог, содержит химические загрязнения и твёрдые отходы, поэтому огромные снежные массы во время таяния могут оказывать негативное влияние на окружающую среду. Остаётся неизученным вопрос влияния СО на ландшафт, в частности на водный режим территорий, нарушение которого может приводить к затоплению и подтоплению соседних участков, загрязнению грунтовых и поверхностных вод, эрозионным процессам и оврагообразованию. Известно, что жители пос. Хромовка г. Томска постоянно обращаются в администрацию города с жалобами на гниение строений, затопление огородов и смыл грунта в весенний период, сырость и неприятные запахи в домах (Активисты..., 2019). Грязь, масла, мазут, пластик, песок и сажа со снежного отвала попадают в почву, а затем в р. Ушайку. На *рис. 1* (см. с. 136) приведён общий вид СО в пос. Хромовка (выделен жёлтым контуром), который достигает высоты девятиэтажного дома и примыкает к жилым строениям. Расчёт массы хранящегося на данном отвале снега, а также объём воды во время его таяния крайне затруднителен ввиду его неоднородной плотности, вызванной уплотнением как специальными

техническими средствами, так и собственным весом. Это затрудняет оценку воздействия на окружающую среду негативных факторов, вызванных эксплуатацией СО, которое, несомненно, существует.

Рис. 1. Снежный отвал в Томске

Ранее показана возможность использования данных дистанционного зондирования для оценки состояния снежных отвалов. На основе анализа космических снимков и данных наземного обследования выявлено изменение площадей СО в 2006–2016 гг. и описаны особенности их температурного режима (Pasko et al., 2016). Установлено снижение значений индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс) территорий СО в 2–5 раз по сравнению с фоновыми участками при близких стартовых темпах роста в начале вегетации. Высказано предположение о замедлении прогревания почвы большими массами уплотнённого снега. Отмечено развитие физической, химической и биологической деградации земель, ведущее к снижению плодородия почвы (Токарева и др., 2018).

В доступной нам научной литературе эксплуатация снежных отвалов как фактор деградации почв не описана. В большинстве работ отмечено негативное антропогенное воздействие сельскохозяйственного производства (Fu et al., 2018) и строительной отрасли (Tennesen, 2014), которые ведут к гомогенизации почвенного профиля и свойств почвы (Costantini, L'Abate, 2016), изменению баланса почвенных процессов (Amundson et al., 2015), потере плодородия (Pedodiversity..., 2013), риску развития эрозии почвы (Lieskovský, Kenderessy, 2014) и т.д. Комплексный анализ состояния территорий СО становится особенно актуальным и нуждается в рассмотрении новых аспектов исследования.

Цель работы — анализ влияния снежных отвалов на состояние окружающей среды с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

В рамках указанной цели поставлены задачи оценки состояния растительного покрова территорий СО в период вегетации, анализа изменения влажности и температуры поверхности этих участков, выявления направления стока талых вод и связанных с этим негативных экологических последствий.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были выбраны территории снежных отвалов, расположенных в Томске по адресам: пересечение ул. Ивановского и ул. Высоцкого (в дальнейшем — СО1), ул. Мостовая, 40а (СО2), пос. Хромовка, 35/2 (СО3), а также фоновые участки (Ф1–Ф3 соответственно). В качестве фоновых взяты участки, расположенные вблизи каждого СО, не подверженные негативному влиянию, имеющие сходные рельеф и растительный покров (рис. 2, см. с. 137). Предметом исследования стали значения индексов NDVI (Bannari et al., 1995; Rouse et al., 1973) и NDWI (Normalized Difference Water Index — нормализованный разностный водный индекс) (Kaplan, Avdan, 2017; McFeeters, 1996), температуры поверхности и эрозионные процессы.

Рис. 2. Схема расположения и форма снежных отвалов (СО) и их фоновых участков (Φ)

В работе использованы космические снимки (КС) со спутников Landsat-8 и Sentinel-2, полученные из архива Геологической службы США (*англ.* United States Geological Survey — USGS) с помощью сервиса Earth Explorer. Для оценки зависимости состояния растительного покрова от температуры и влажности территории рассчитаны температура поверхности СО и их фоновых участков (Пасько и др., 2016), значения индексов NDVI и NDWI по данным космических снимков, полученных со спутника Landsat-8 (камеры TIRS и OLI), с датами съёмки 09.05.2018, 19.06.2018 и 12.07.2018. Построены профили значений NDVI, NDWI и температуры поверхности в направлении с севера на юг и с запада на восток через центры СО. Данные с камеры OLI (Collection-1, Level-2) не требуют предварительной обработки, так как поставляются с уже проведённой атмосферной коррекцией.

Выбор большего количества КС со спутника Landsat-8 был ограничен из-за наличия облачности, поэтому для оценки изменения состояния растительного покрова в течение всего вегетационного периода 2018 г. использовали безоблачные снимки со спутника Sentinel-2 (камера MSI) с датами съёмки 10 мая, 7 июня, 12 июля, 8 августа и 5 сентября. Предварительная обработка и атмосферная коррекция космических снимков Sentinel-2 проведена в геоинформационной системе (ГИС) QGIS с помощью плагина Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2016). Атмосферная коррекция данным плагином производится по алгоритму Dark Object Subtraction 1 (DOS1) (Gilmore et al., 2015). Пространственный анализ данных и расчёт средних значений индексов и температуры поверхности на территории объектов исследования выполнен с использованием QGIS и программного обеспечения Microsoft Excel.

По картографическим данным сервиса Google Earth Pro (Google Планета Земля) оценены изменения площади снежных отвалов в 2015 и 2018 гг. Для выявления роли СО в развитии эрозионных процессов и деградации растительного покрова построены профили высот и проанализированы пространственные особенности СО и прилегающих территорий.

Результаты и обсуждение

Установлено, что за четыре года площадь территории СО1 сократилась на 19 % (с 21 000 до 17 000 м²), территория СО2 возросла на 48 % (с 42 300 до 81 000 м²), СО3 — на 18 % (с 18 000 до 22 000 м²). Отмечено смещение территории СО2 и слабое зарастание территории старого снежного отвала. Внутри каждого СО выявлена устойчивая тенденция изменения изученных показателей, характерная для всех снежных отвалов.

Динамика вегетационного и водного индексов и температуры

По снимкам со спутника Sentinel-2 рассмотрено изменение состояния растительного покрова и влажности поверхности СО и соответствующих фоновых участков в течение всего вегетационного периода (рис. 3). Выявлена территориально-временная изменчивость значений NDVI, NDWI и температуры на снежных отвалах. Для территорий СО1 установлен рост значений NDVI до отметки 0,4, для территорий СО2 и СО3 — до отметки 0,2, что означает полное отсутствие растительности. Значения индекса NDWI указывают на уменьшение количества воды на СО, вероятно, вследствие таяния снега и испарения воды. На территориях фоновых участков индекс NDVI возрастает с 0,4 (разряженная растительность) в начале вегетационного периода до почти 0,8 (густая растительность) в середине июля. Индекс NDWI достигает отметки почти $-0,8$, что означает полное отсутствие воды.

Рис. 3. Средние значения показателей NDVI и NDWI поверхности снежных отвалов (СО) и их фоновых участков (Ф) в 2018 г.

Обращают на себя внимание общие закономерности динамики индексов на объектах исследования. Графики изменения значений NDVI и NDWI практически симметричны как для территорий СО, так и для фоновых участков. Это свидетельствует об усилении развития растительности при снижении оводнённости территории. Для территорий всех СО характерно максимальное изменение значений NDVI и NDWI на границах земельных участков. В центростремительном направлении значения NDVI закономерно снижаются, соответственно, значения NDWI возрастают; величины обоих индексов постоянны в центральных частях снежных отвалов. Для территорий фоновых участков характерных закономерностей не установлено.

График значений NDVI характеризуется для СО1 значительным понижением в южном и восточном направлениях и постоянством в центре; для СО2 — понижением, стабилизацией и ростом в южном направлении, понижением, стабилизацией, ростом и понижением в восточном направлениях; для СО3 — постоянными значениями. В изменениях температуры поверхности вдоль профилей, построенных через центры объектов исследования, явных закономерностей не выявлено. Для территорий СО1 и СО3 характерны её рост в южном направлении, а также снижение, стабилизация и рост в восточном; для территории СО2 — снижение в южном направлении, рост и снижение в восточном. Температура поверхности территорий фоновых участков для СО2 и СО3 достаточно постоянна, в отличие от СО1, которому свойственно незначительное охлаждение центральной части. Для примера на рис. 4 и 5 (см. с. 139) приведён ход изменения значений индексов NDVI и NDWI и температуры по КС, полученным 19.06.2018 вдоль профилей, проведённых через центры СО1 и его фоновых участка в южном и восточном направлениях.

В соответствии с общими тенденциями значения индекса NDVI снижаются, значения NDWI возрастают в центростремительном направлении. Температура поверхности

меняется в пределах 23–27 °С (на фоновом участке не превышает 24 °С). На наш взгляд, более быстрое прогревание поверхности СО1 обусловлено наличием в снеге химических и механических загрязнений, а также более высокой теплопроводностью песка по сравнению с растительностью.

Рис. 4. Значение NDVI (а), NDWI (б) и температуры (в) вдоль профиля, построенного через центр СО1 (слева) и фоновой участка (справа) с севера на юг по космическому снимку за 19.06.2018

Рис. 5. Значение NDVI (а), NDWI (б) и температуры (в) вдоль профиля, построенного через центр СО1 (слева) и фоновой участка (справа) с запада на восток по космическому снимку за 19.06.2018

Влияние снежных отвалов на ландшафт

Изучен рельеф зон СО и прилегающих территорий с использованием сервиса Google Earth Pro. Для этого построены продольные и поперечные профили эродированных участков территорий снежных отвалов и их окрестностей. В таблице и на рис. 6–8 дана характеристика пространственных особенностей эродированных участков.

Пространственные особенности эродированных участков

Снежный отвал	Направление профиля по отношению к эродированному участку	Расстояние, м	Изменение высоты, м	Уклон, %	
				Максимальный	Средний
СО1	Вдоль (рис. 6а)	660,17	2,08–20,7	9,4	3,3
	Поперёк (рис. 6б)	279,13	8,6–11,0	9,4	4,9
	Поперёк (рис. 6в)	285,73	12,8–13,9	17,5	9,3
СО2	Вдоль (рис. 7а)	508,91	2,49–3,13	2,2	0,8
	Поперёк (рис. 7б)	436,65	1,71–2,02	1,5	0,8
СО3	Вдоль (рис. 8а)	502,03	0–14,5	5,7	1,7
	Поперёк (рис. 8б)	662,53	0,27–1,21	4,2	1,3

Примечание: адреса снежных отвалов: СО1 — пересечение ул. Ивановского и ул. Высоцкого; СО2 — ул. Мостовая, 40а; СО3 — пос. Хромовка, 35/2.

а

б

в

Рис. 6. Направление профиля: вдоль (а) и поперёк (б, в) эродированного участка на СО1

Рис. 7. Направление профиля: вдоль (а) и поперёк (б) эродированного участка на СО2

Рис. 8. Направление профиля: вдоль (а) и поперёк (б) эродированного участка на СО3

Установлено, что в северном направлении от СО1 расположен протяжённый участок, не занятый растительностью, в то время как на территории вокруг этого участка она явно присутствует. По профилю рельефа вдоль эродированного участка видно, что на всём его протяжении идёт уменьшение высоты по мере удаления от СО (см. рис. 6а), а поперечные профили указывают на формирование оврага (см. рис. 6б, в).

На территории СО2 вдоль СО и поперёк него также выявлено понижение рельефа, являющееся предпосылкой основного стока воды в период таяния снега (см. рис. 7). В отличие от СО1 протяжённый участок СО2 имеет форму впадины, глубина которой в отдельных местах превышает три метра. Избыток влаги во время таяния снега или выпадения атмосферных осадков способствует заболачиванию территории СО и соседнего земельного участка, являясь причиной образования промоин и угнетения растительного покрова.

Для определения направления стока талых вод с территории СО3 и возможности подтопления жилых домов и загрязнения р. Ушайки проведена оценка перепадов высот. Соответствующие профили построены в северном и юго-западном направлении вдоль и поперёк эродированного участка, расположенного южнее границы СО3. На рис. 8а видно, что понижение рельефа идёт в юго-западном направлении, в сторону домов и реки. Точка вблизи реки имеет отметку 78 м над уровнем моря, на самом снежном отвале — 93 м, разница высот составляет 14,5 м. Кроме того, установлено понижение рельефа в западном направлении поперёк эродированного участка (см. рис. 8б). Таким образом, пространственные особенности СО3 и прилегающей территории в этих направлениях способствуют подтоплению домов, попаданию загрязнённой воды в реку, размыву и смыву почвы в весенне-летний период.

Неконтролируемое загрязнение опасными химическими веществами и захламление территории мусором с СОЗ усиливают его негативное влияние на окружающую среду. С учётом хозяйственной ценности реки, используемой для полива садово-огородных участков, купания, рыбной ловли и т. д., можно сделать вывод о реальной экологической опасности СОЗ.

Анализ изменения рельефа в северном направлении показывает более высокое расположение домов относительно поверхности снежного отвала, что исключает их подтопление талыми водами. Вместе с тем наличие механического препятствия в виде горы льда и мусора вызывает застой воды и заболачивание территории.

В целом поверхности снежных отвалов представляют собой выработанные формы рельефа, образованные выносом почвы и грунта. Максимальный уклон на территории, прилегающей к СО1, вдоль стока талых вод (см. *рис. 6а*) в 6,3 раза выше, чем на территории СО2 (см. *рис. 7б*), и в 1,6 раз — чем на территории СОЗ (см. *рис. 8а*). Рельеф СО1 и СОЗ можно охарактеризовать как мезоформу (перепады высот от 10 м), СО2 — как микроформу (перепады высот до 10 м) (Bridge, Demicco, 2008). На территории, прилегающей к СО1, развивается овраг, на территориях СО2 и СОЗ формируются промоины и очаги заболачивания.

Заключение

В работе проведён анализ состояния снежных отвалов как экологически опасных объектов. С помощью спутникового мониторинга и современных ГИС-технологий получена оценка динамики их состояния в Томске во время вегетационного периода. Выявлена центростремительная тенденция изменения значений вегетационных индексов и температуры на снежных отвалах при однородных фоновых показателях. Показано более быстрое прогревание поверхности снежных отвалов по сравнению с фоновыми в летний период. Установлено негативное влияние снежных отвалов на близлежащие территории, проявляющееся в стоке больших объёмов воды во время таяния снега. Это вызывает размыв и смыв почвы, заболачивание территории, оврагообразование, подтопление домов, деградацию растительности, а также неконтролируемое загрязнение и захламление почвы и поверхностных вод.

Авторы выражают благодарность выпускнице Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ) Макарьцевой Елене Сергеевне за помощь в проведении исследований.

Исследование выполнено в НИ ТПУ в рамках программы повышения конкурентоспособности университета.

Литература

1. Активисты ОНФ просят власти Томска минимизировать ущерб от таяния снегоотвала для жителей поселка Хромовка. URL: <https://onf.ru/2019/03/26/aktivisty-onf-prosyat-vlasti-tomska-minimizirovat-ushcherb-ot-tayaniya-snegootvala-dlya/> (дата обращения 10.12.2019).
2. География Сибири в начале XXI века / под ред. В.М. Плюснина. Т. 5. Новосибирск: Академ. изд-во «ГЕО», 2016. 447 с.
3. Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
4. Об утверждении Правил благоустройства территории муниципального образования «Город Томск» (с изменениями на 2 июля 2019 года). Постановление администрации города Томска № 55 от 26.01.2011. 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/467926688>.
5. Пасько О.А., Токарева О.С., Ушакова Н.С., Макарьцева Е.С., Гапонов Е.А. Применение спутниковых методов исследований для оценки состояния территорий снежных отвалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 20–28.
6. Токарева О.С., Пасько О.А., Ушакова Н.С., Макарьцева Е.С., Федорова Л.А. Комплексная оценка развития деградации растительного покрова снежных отвалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 75–83. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-75-83.

7. *Amundson R., Berhe A. A., Hopmans J. W., Olson C., Sztein A. E., Sparks D. L.* Soil and human security in the 21st century // *Science*. 2015. V. 348. Iss. 6235. P. 126–137. DOI: 10.1126/science.1261071.
8. *Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R.* A review of vegetation indices // *Remote Sensing Reviews*. 1995. V. 13. Iss. 1–2. P. 95–120. DOI: 10.1080/02757259509532298.
9. *Bridge J., Demicco R.* Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits. Cambridge University Press, 2008. 815 p.
10. *Congedo L.* Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. 2016. 198 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.29474.02242/1.
11. *Costantini E. A. C., L'Abate G.* Beyond the concept of dominant soil: Preserving pedodiversity in upscaling soil maps // *Geoderma*. 2016. V. 271. P. 243–253. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.11.024.
12. *Fu T., Han L., Gao H., Liang H., Li X., Liu J.* Pedodiversity and its controlling factors in mountain regions — A case study of Taihang Mountain, China // *Geoderma*. 2018. V. 310. P. 230–237. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.09.027.
13. *Gilmore S., Saleem A., Dewan A.* Effectiveness of DOS (Dark-Object Subtraction) method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanising megacity with Landsat 8 data // *Research@Locate'2015: Proc. Conf. Australia, Brisbane*. 10–12 March. 2015. V. 1323. P. 100–108.
14. *Kaplan G., Aydan U.* Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery // *European J. Remote Sensing*. 2017. V. 50. Iss. 1. P. 137–143. DOI: 10.1080/22797254.2017.1297540.
15. *Lieskovský J., Kenderessy P.* Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vráble (Slovakia) using WATEM/SEDEM // *Land Degradation and Development*. 2014. V. 25. Iss. 3. P. 288–296. DOI:10.1002/ldr.2162.
16. *McFeeters S. K.* The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *Intern. J. Remote Sensing*. 1996. V. 17. Iss. 7. P. 1425–1432. DOI: 10.1080/01431169608948714.
17. *Pasko O. A., Makartsova E. S., Ushakova N. S., Tokareva O. S., Mochalov M. V.* The possibility of distance methods application for snow dump sites monitoring // *MATEC Web Conf.* 2016. V. 48. Article 05002. P. 1–4. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164805002> (accessed 10.12.2019).
18. *Pedodiversity* / eds. Ibáñez J. J., Bockheim J. G. Boca Raton: CRC Press, 2013. 256 p.
19. *Rouse J. W., Haas R. H., Scheel J. A., Deering D. W.* Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS // *3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symp.: Proc. Conf. USA, Washington*. 10–14 Dec. 1973. V. 1. P. 309–317.
20. *Tennesen M.* Rare earth // *Science*. 2014. V. 346. Iss. 6210. P. 692–695. DOI: 10.1126/science.346.6210.692.

Analysis of snow dump environmental hazard using the example of Tomsk

O. A. Pasko, O. S. Tokareva, J. A. Ibragimov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk 634030, Russia
E-mails: oap@tpu.ru, ost@tpu.ru

The issues of placement and operation of snow dumps are extremely relevant for the regions of Russia with prolonged snow cover. During their development, negative anthropogenic factors are usually ignored. The paper provides an analysis of the impact of snow dumps on the environment as environmentally hazardous objects. According to the data of remote monitoring and ground-based inspection of the territories of snow dumps, an uncontrolled change in their areas in the city of Tomsk is shown. The degradation of the soil and vegetation caused by changes in the temperature and water regimes of the surface was revealed. Using data of the thermal channel of the TIRS camera of the Landsat-8, temperature profiles of the territories of snow dumps and background plots were constructed. The features of heating the surface of snow dumps are expressed in a centripetal increase in the values of vegetation indices and temperature, as well as in a more rapid increase in the temperature of their surface in the summer. A set of negative factors of the influence of snow dumps on nearby territories, including the runoff of large volumes of water during snow melting, soil erosion and flushing, gully formation, flooding and house flooding, uncontrolled pollution and littering soil and surface water is described.

Keywords: vegetation index, water index, degradation, remote sensing, monitoring, gullying, soil, vegetation, snow dump, temperature profile

Accepted: 30.04.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-135-144

References

1. <https://onf.ru/2019/03/26/aktivisty-onf-prosyat-vlasti-tomska-minimizirovat-ushcherb-ot-tayaniya-sne-gootvala-dlya/>.
2. *Geografiya Sibiri v nachale XXI veka* (Geography of Siberia at the beginning of the XXI century), V. M. Plyusnin (ed.), Vol. 5, Novosibirsk: Akademicheskoe izd. "GEO", 2016, 447 p.
3. Ob okhrane okruzhayushchei sredy (On environmental protection), *Federal law No 7-FZ*, Date 10.01.2002.
4. Ob utverzhdenii Pravil blagoustroystva territorii munitsipal'nogo obrazovaniya "Gorod Tomsk" (s izmeneniyami na 2 iyulya 2019 goda) (On approval of the rules of improvement of the territory of the municipal formation "Tomsk City" (as amended on July 2, 2019)), *Resolution of the administration of the city of Tomsk No. 55*, Date 26.01.2011, 2016, available at: <http://docs.cntd.ru/document/467926688>.
5. Pasko O. A., Tokareva O. S., Ushakova N. S., Makartsova E. C., Gaponov E. A., Primenenie sputnikovyykh metodov issledovaniya dlya otsenki sostoyaniya territorii snezhnykh otvalov (The application of satellite methods of research in monitoring snow dumps), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 20–28.
6. Tokareva O. S., Pasko O. A., Ushakova N. S., Makartsova E. S., Fedorova L. A., Kompleksnaya otsenka razvitiya degradatsii rastitel'nogo pokrova snezhnykh otvalov (Comprehensive assessment of degradation of snow dump vegetation), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 2, pp. 75–83, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-75-83.
7. Amundson R., Berhe A. A., Hopmans J. W., Olson C., Sztein A. E., Sparks D. L., Soil and human security in the 21st century, *Science*, 2015, Vol. 348, Issue 6235, pp. 126–137, DOI: 10.1126/science.1261071.
8. Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R., A review of vegetation indices, *Remote Sensing Reviews*, 1995, Vol. 13, Issue 1–2, pp. 95–120, DOI: 10.1080/02757259509532298.
9. Bridge J., Demicco R., *Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits*, Cambridge University Press, 2008, 815 p.
10. Congedo L., *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*, 2016, 198 p., DOI: 10.13140/RG.2.2.29474.02242/1.
11. Costantini E. A. C., L'Abate G., Beyond the concept of dominant soil: Preserving pedodiversity in upscaling soil maps, *Geoderma*, 2016, Vol. 271, pp. 243–253, DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.11.024.
12. Fu T., Han L., Gao H., Liang H., Li X., Liu J., Pedodiversity and its controlling factors in mountain regions — A case study of Taihang Mountain, China, *Geoderma*, 2018, Vol. 310, pp. 230–237, DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.09.027.
13. Gilmore S., Saleem A., Dewan A., Effectiveness of DOS (Dark-Object Subtraction) method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanising megacity with Landsat 8 data, *Research@Locate'2015*, Proc. Conf., Australia, Brisbane, 10–12 March, 2015, Vol. 1323, pp. 100–108.
14. Kaplan G., Avdan U., Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery, *European J. Remote Sensing*, 2017, Vol. 50, Issue 1, pp. 137–43, DOI: 10.1080/22797254.2017.1297540.
15. Lieskovský J., Kenderessy P., Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vrábce (Slovakia) using WATEM/SEDEM, *Land Degradation and Development*, 2014, Vol. 25, Issue 3, pp. 288–296, DOI: 10.1002/ldr.2162.
16. McFeeters S. K., The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *Intern. J. Remote Sensing*, 1996, Vol. 17, Issue 7, pp. 1425–1432, DOI: 10.1080/01431169608948714.
17. Pasko O. A., Makartsova E. S., Ushakova N. S., Tokareva O. S., Mochalov M. V., The possibility of distance methods application for snow dump sites monitoring, *MATEC Web Conf.*, 2016, Vol. 48, Article 05002, pp. 1–4, available at: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20164805002> (accessed 10.12.2019).
18. *Pedodiversity*, Ibáñez J. J., Bockheim J. G. (eds.), Boca Raton: CRC Press, 2013, 256 p.
19. Rouse J. W., Haas R. H., Scheel J. A., Deering D. W., Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, *3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symp.*, Proc. Conf., USA, Washington, 10–14 Dec., 1973, Vol. 1, pp. 309–317.
20. Tennesen M., Rare earth, *Science*, 2014, Vol. 346, Issue 6210, pp. 692–695, DOI: 10.1126/science.346.6210.692.