Комплексная оценка развития деградации растительного покрова снежных отвалов

О. С. Токарева¹, О. А. Пасько¹, Н. С. Ушакова²,
Е. С. Макарецова¹, Л. А. Федорова¹

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, 634030, Россия*
E-mails: ost@tpu.ru, oap@tpu.ru

² *Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, Томск, 634041, Россия*
E-mail: ushakova@green.tsu.ru

В статье представлены результаты комплексной оценки деградации растительного покрова на территории трёх снежных отвалов г. Томска с использованием данных дистанционного зондирования Земли и наземных исследований. По космическим снимкам высокого пространственного разрешения установлено, что степень антропогенного воздействия на растительный покров территорий снежных отвалов соответствует четвёртому из пяти уровней, при котором происходит радикальное изменение экосистемы. Изучение сезонных изменений значений NDVI на территории снежных отвалов и фоновых участков проводилось на основе данных со спутника Landsat-8 (OLI) в течение вегетационных периодов трёх лет. Показано, что средние значения NDVI территорий снежных отвалов от двух до пяти раз ниже фоновых при близких темпах роста биомассы в начале вегетационного периода. По данным наземных исследований на территориях снежных отвалов установлено снижение проективного покрытия и видовой насыщенности растительности, плотности растений. Причиной этого являются экстремальные условия произрастания: высокое содержание песчаной фракции, засуха, переохладение почвы в начальный период развития, щелочная реакция и засоленность почвы, отсутствие гумуса, которые способствуют заселению территории особями единичных, наиболее приспособленных видов.

Ключевые слова: вегетационный индекс, видовая насыщенность, деградация, дистанционное зондирование, космический снимок, почвы, растительный покров, снежный отвал

Одобрена к печати: 03.04.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-75-83

Введение

Одной из глобальных проблем современности является деградация земель, т.е. временное или устойчивое снижение плодородия почвы в результате антропогенной деятельности и экстремальных природных явлений, приводящее к снижению биологического разнообразия экосистемы (Convention..., 1992).

Различают физическую деградацию земель (разрушение почв, изменение теплового и гидрологического режимов), химическую (загрязнение радиоактивными элементами, тяжёлыми металлами и органическими веществами) (Snel, Bot, 2002), а также биологическую деградацию (снижение биологической продуктивности наземных экосистем, в том числе почвы, растительности и др.) (Prince, 2002).

Объектами мониторинга деградации земель в глобальном масштабе являются территории жарких засушливых зон (Конвенция..., 1994; Report..., 2000). Разработанные методы мониторинга эффективны и для зон с резко континентальным климатом, в частности для Сибирского федерального округа (СФО). В СФО деградация земель происходит преимущественно в районах нефте- и газодобычи и выражается в заболачивании земель и закислении почв в результате вырубок леса в таёжной зоне (Госдоклад..., 2016), засолении и осолонцевании почв в степной зоне (Цыплёнок, Гаврилова, 2014). Около половины (48 %) площадей СФО подвержены ветровой эрозии почв (Глазунов, 2004). Деградация почв СФО происходит

при высоком уровне их загрязнения различными веществами: фосфором, азотом, пестицидами и нефтепродуктами (Госдоклад..., 2014; Svarovskaya et al., 2015).

Практически неизученным фактором, вызывающим деградацию почвенно-растительного покрова в условиях СФО, является эксплуатация снежных отвалов (СО) — специализированных участков для сезонного складирования снега, собранного с территории города. Они негативно влияют на состояние окружающей среды, ведут к захламлению и заболачиванию территории, загрязнению почвы, воды и атмосферного воздуха. На космических снимках хорошо идентифицируются территории снежных отвалов, их площадные и физические характеристики, например аномальная влажность и температура поверхности (Pasko et al., 2016). Установлено, что скопление уплотнённого снега приводит к более медленному прогреванию почвы в начале вегетационного периода, а химические вещества, попавшие в почву из загрязнённого снега, — к резкому росту её температуры в дальнейшем (Пасько и др., 2016). Описанные признаки физической деградации земель вызывают биологическую деградацию, изучению которой посвящена данная работа.

Целью настоящей работы является оценка деградации растительного покрова на территориях снежных отвалов с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и наземного обследования и выявление причинно-следственной связи между физическим и биологическим типами деградации на этих территориях.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются территории снежных отвалов, расположенных в г. Томске по адресам: пересечение ул. Ивановского и ул. Высоцкого (далее — СО1); ул. Мостовая, 40а (СО2); пос. Хромовка, 35/2 (СО3), а также фоновые участки, расположенные вблизи каждого снежного отвала.

Для оценки деградации использован комплекс методов. Полевой этап мониторинга включает послыйный сбор и описание образцов почвы, оценку биоразнообразия и состояния растительности земельных участков (Григорьев, 2003). В камеральных условиях проводят анализ образцов почвы, картографического материала, в том числе космических снимков. Методы ДЗЗ позволяют производить региональную оценку физической, химической (Кривальцевич, 2005) и биологической деградации земель (Деградация..., 2008).

Для оценки изменения площади растительного покрова на территории снежных отвалов использованы космические снимки высокого пространственного разрешения, полученные с картографического сервиса GoogleEarth.

Состояние растительного покрова территорий СО оценено на основе значений вегетационного индекса NDVI, определяемых по космическим снимкам. В работе использованы космические снимки среднего пространственного разрешения (30 м), полученные со спутника Landsat-8 (камера OLI) в течение трёх вегетационных периодов: 2014, 2015 и 2016 гг. Значения NDVI рассчитываются по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}},$$

где ρ_{nir} — значения коэффициента спектральной яркости пикселя в ближнем инфракрасном диапазоне; ρ_{red} — в красном диапазоне электромагнитного спектра (Rouse et al., 1973).

В результате обработки по каждому космическому снимку построены карты NDVI и рассчитано среднее значение NDVI для территории каждого снежного отвала и фонового участка. Пространственный анализ полученных данных произведён с помощью средств геоинформационной системы ArcGIS for Desktop 10.4.1.

Для верификации результатов, полученных по данным ДЗЗ, проведены наземные исследования растительности на территории объектов исследования: составлены геоботанические описания, указаны параметры проективного покрытия и степени развития видов по работе (Манаков, 2010). Составлено 96 описаний растительных сообществ. Для определения видовой насыщенности и плотности растений различных зон снежных отвалов использована рамка

квадратной формы размером 1×1 м, которую накладывали на поверхность Земли, используя метод случайной выборки. Подсчитывали число видов и число растений, находящихся в пределах рамки (Воронов, 1973). В зависимости от равномерности произрастания растений проведено по 40–75 определений (Schneider et al., 2012) в каждой зоне. Для оценки уровня антропогенного воздействия на растительность использована шкала, предложенная в работе (Marr, Willard, 1970).

Взятие почвенных образцов снежного отвала произведено на опытных площадках с заложенными одним или двумя разрезами до полутора метров и глубже (до появления воды). Образцы взяты из средней части каждого горизонта почвенного разреза с помощью стального кольца известного объёма (диаметр кольца — 5,6 см, высота — 4 см). Гранулометрический состав почвы определён ареометрическим методом согласно ГОСТ 12536-79.

Результаты и обсуждение

Анализ космических снимков высокого пространственного разрешения за период более 10 лет позволил выявить значительное сокращение площади растительного покрова на территории снежных отвалов к 2016 г.: CO1 — на 74 %, CO2 — на 82 %, CO3 — на 81 %.

Площадь контура снежного отвала CO3, эксплуатируемого в течение самого длительного времени, составляет 23 560 м². Как видно на *рис. 1*, площадь проективного покрытия, занятого растительностью в пределах границы CO3, постоянно сокращалась и составила в процентах от площади, занятой растительностью в 2010 г. (22 212 м²): 52 % в 2013 г., 30 % в 2016 г. и 4 % в 2017 г.

Согласно работе (Marr, Willard, 1970), это соответствует четвёртому из пяти уровней антропогенного воздействия на растительность со следующими значениями критериев оценки: 1) радикальное изменение экосистемы; 2) сокращение естественной растительности на 75–95 %; 3) исчезновение растительности за исключением некоторых поросших участков.

Характер изменения средних значений NDVI для снежных отвалов и соответствующих фоновых участков различен. На *рис. 2* (см. с. 78) для примера приведены графики, показывающие изменение средних значений NDVI на CO3 в течение трёх вегетационных периодов (2014, 2015 и 2016 гг.). Вид графиков для снежных отвалов близок к линейному, а для фоновых участков имеет куполообразную форму с одним или несколькими экстремумами (во 2–3 декаде июня). В соответствии с изменениями значений NDVI в начале вегетационного периода на фоновых участках происходит резкое нарастание биомассы — в 1,7–2,7 раза; на CO — в 1,3–2,6 раза. При этом значения индекса NDVI на территории снежных отвалов в этот период ниже фоновых в 2–5 раз. В большинстве случаев на территориях фоновых участков биомасса достигает максимальных значений к концу июня, после чего значения индекса NDVI снижаются, тогда как для территорий CO они продолжают увеличиваться. В условиях ограничения количества осадков оттаивание снежной массы к середине года обеспечивает высокий уровень влагосодержания в критический по влаге период.

Рис. 1. Изменение площади проективного покрытия, занятого растительностью на CO3

Рис. 2. Типичный ход изменения показателя NDVI снежного отвала на примере CO3: а — 2014 г.; б — 2015 г.; в — 2016 г.

Согласно классификации (Барталев и др., 2011; Di Gregorio, 2016) максимальные значения NDVI фоновых участков, лежащие в пределах от 0,4 до 0,6, позволяют характеризовать растительность как промежуточную между густой и разреженной. На территории снежных отвалов максимальные средние значения NDVI в основном лежат в пределах от 0,15 до 0,25, что соответствует открытой почве. Только на CO3 заметно увеличение значений NDVI в 2014 и в 2015 гг. (см. рис. 2), когда максимальное среднее значение в течение вегетационного периода достигло 0,35 и 0,4 (разреженная растительность) соответственно. Причиной улучшения состояния растительного покрова в эти годы стало рыхление снега на CO3, приведшее к его более быстрому таянию и, как следствие, к прогреванию почвы в ранние сроки.

В результате наземных исследований территорий снежных отвалов выявлено снижение проективного покрытия растительности в центральной их части на 85–99 %, что соответствует максимальному пятому уровню антропогенного воздействия на растительность (Marq, Willard, 1970), при котором экосистемы разрушены, а оставшиеся растения подавлены в росте и развитии. На рис. 3 (см. с. 79) для иллюстрации приведены фотографии территории снежного отвала CO3 и фрагментов растительного покрова фонового участка и CO3.

Установлено снижение видовой насыщенности растительной популяции на территориях снежных отвалов и сходство видов на разных, далеко расположенных друг от друга CO. Для снежных отвалов характерно видовое зонирование растительности. Чётко различимы концентрические центральная, основная и заболоченная части (см. перечень). Наиболее часто на почвах снежных отвалов встречаются типичные пионерные группировки (Манаков, 2010), представленные семействами: астровые (*Asteraceae*), мятликовые (*Poaceae*), бобовые (*Fabaceae*), крестоцветные (*Brassicaceae*), розоцветные (*Rosaceae*), маревые (*Chenopodiaceae*), ивовые (*Salicaceae*), кипрейные (*Onagraceae*), гречишные (*Polygonaceae*) и губоцветные (*Lamiaceae*) (см. рис. 3, перечень). Их особенностью является семенной способ размножения.

Рис. 3. Общий вид СОЗ (а); растительный покров: б — фонового участка, в — СОЗ

Сокращение видовой насыщенности растительных сообществ снежных отвалов по сравнению с фоном свидетельствуют о неоптимальности экологических условий (Grime, 2001) для роста и развития растений.

*Перечень основных видов растительности,
произрастающих в разных зонах снежных отвалов*

Зона	Виды
Фоновый участок	пырей ползучий, земляника луговая, подорожник ланцетолистный, клевер луговой, мышиный горошек, пастушья сумка, одуванчик лекарственный, хвощ полевой, звездчатка средняя, сныть обыкновенная, вероника дубравная
Центр	полынь обыкновенная, ромашка аптечная, земляника луговая, подорожник средний, мышиный горошек
Основная часть	клён татарский, пырей ползучий, ива белая, бодяк обыкновенный, пастушья сумка, хвощ полевой, бодяк полевой
Заболоченная часть	клён татарский, череда трёхраздельная, пырей ползучий, мать-и-мачеха, ромашка-поповник, подорожник большой, марь обыкновенная, хвощ полевой, полынь горькая

От центра к периферии происходит закономерный рост числа видов и снижение плотности растений, т.е. в центральной части меньше видов, но больше растений; на периферии — наоборот. На рис. 4 приведены гистограммы, показывающие видовую насыщенность различных частей территории СОЗ и соответствующего ему фонового участка. В центральной части видовая насыщенность снижена почти в два раза по сравнению с фоном; плотность растений — в 1,8 раза. Фильтром, экотопологически определяющим видовую насыщенность (Zobel, Kalamees, 2005) локального растительного сообщества, на наш взгляд, являются сходные экстремальные условия произрастания в разных зонах снежных отвалов. В центре это преобладание песка, засуха, переохлаждение почвы в начальный период развития, щелочная реакция и засоленность почвы, отсутствие гумуса, которые ограничивают видовую насыщенность и способствуют заселению территории особями единичных, наиболее приспособленных видов.

Рис. 4. Видовая насыщенность (а) и плотность растений (б) фонового участка и различных зон снежных отвалов

Высокая влажность и заболачивание участка способствуют продлению фазы вегетативного роста большинства видов, но ввиду крупных размеров растений их плотность незначительна.

Для объяснения выявленных закономерностей роста и развития растений проведён анализ гранулометрического состава образцов почвы со снежных отвалов. Установлено, что почвы с наиболее длительно используемого СОЗ состоят из фракций следующих размеров: 0,1–0,05 мм (соответствует мелкому песку (Качинский, 1965)) — 72 %; 0,5–0,25 мм — 15 %; 0,25–0,1 мм — 13 %. Почвы характеризуются защелачиванием и малой долей перегноя. Они достаточно воздушны, хорошо пропускают воду и быстро прогреваются. Плотность почвы в пределах 0–40 см глубины меняется от 1,72 до 1,3 г/см³, обводнённость — с 6,79 до 22,14 %.

Полученные данные позволили сделать вывод, что отставание в развитии растений на снежных отвалах вызвано не только переохлаждением почв (Пасько и др., 2016), но и их низким плодородием. По мере таяния снежных масс происходит стабильное насыщение почвы влагой. Растения на снежных отвалах продолжают развитие даже в засушливый период, но абсолютные значения NDVI значительно отстают от фоновых ввиду задержки развития в начальный период. Эти закономерности аналогичны описанным ранее для участков вечной мерзлоты, когда рост значений NDVI наблюдается к середине лета (Варламова, Соловьев, 2014).

Заключение

По данным разновременной космической съёмки и полевых исследований проведена комплексная оценка деградации растительного покрова на территориях трёх снежных отвалов г. Томска, выразившейся в первую очередь в сокращении площади растительного покрова на 74–82 % за 10 лет, что соответствует четвёртому из пяти уровней антропогенного воздействия на растительность по шкале, предложенной в работе (Marr, Willard, 1970). Значения NDVI территорий снежных отвалов в 2–5 раз ниже фоновых при близких темпах роста биомассы в начале вегетационного периода.

По данным наземных исследований на территориях снежных отвалов установлено снижение проективного покрытия и видовой насыщенности растительности, наличие зонирования (концентрические центральная, основная и заболоченная части). Их причиной являются сходные экстремальные условия произрастания: высокое содержание песчаной фракции, засуха, переохлаждение почвы в начальный период развития, щелочная реакция и засоленность почвы, отсутствие гумуса, которые ограничивают видовую насыщенность и способствуют заселению территории особями единичных, наиболее приспособленных видов.

Проведённые исследования показали связь между физической деградацией почв, обусловленной переохлаждением, переувлажнением, потерей гумуса, и биологической деградацией, проявившейся в сокращении площади проективного покрытия, активности биомассы, видовой насыщенности и плотности растений.

Исследование выполнено в Томском политехническом университете в рамках программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

Литература

1. Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
2. Варламова Е. В., Соловьев В. С. Исследование вариаций индекса NDVI тундровой и таежной зон Восточной Сибири на примере территорий Восточной Якутии // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 10. С. 891–894.
3. Воронов А. Г. Геоботаника. М.: Высш. шк., 1973. 384 с.

4. Глазунов Г. П. Теория ветровой эрозии почвы: дис. ... д-ра биол. наук (спец. 03.00.27). М.: МГУ, 2004. 211 с.
5. Госдоклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году». 2014. 473 с. URL: <http://www.ecogodosklad.ru/> (Дата обращения 15.12.2017).
6. Госдоклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М: Минприроды России, НИА-Природа, 2016. 639 с. URL: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/62f/dokl2015.pdf> (Дата обращения 15.12.2017).
7. Григорьев А. И. Индикация состояния окружающей среды. Омск: ОмИПП, 2003. 128 с.
8. Деградация земельных ресурсов в Центральной Азии: Пересмотренный и исправленный вариант Финального отчета. ADB TA 6356-REG: Проект поддержки межстрановой рамочной основы «Инициатива стран Центральной Азии по управлению земельными ресурсами». 2008. 153 с. URL: http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/pdf/gis-final-report-ru.pdf (Дата обращения 15.12.2017).
9. Качинский Н. А. Физика почвы. Ч. 1. М.: Высш. шк., 1965. 324 с.
10. Конвенция организации объединенных наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке. Париж, 1994. 43 с. URL: <http://www.cawater-info.net/library/rus/desert.pdf> (Дата обращения 15.12.2017).
11. Кривальцевич С. В. Дистанционное зондирование деградированных почв: дис. ... канд. техн. наук (спец. 25.00.35). Барнаул: ОмГПУ, 2005. 162 с.
12. Манаков Ю. А. Анализ пионерной стадии сингенеза на отвалах песчаниковых пород // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2010. № 5. С. 49–54.
13. Пасько О. А., Токарева О. С., Ушакова Н. С., Макарецова 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.
14. Цыплёнок И. В., Гаврилова Н. В. Современное состояние сельскохозяйственных угодий и развитие деградационных процессов в Омской области с позиции экологического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13699> (Дата обращения: 15.12.2017).
15. Convention on biological diversity. United Nations, 1992. URL: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf> (December 15, 2017).
16. Di Gregorio A. Land Cover Classification System. Classification concept. Software version 3. Rome: FAO, 2016. URL: <http://www.fao.org/3/a-i5232e.pdf> (Дата обращения 15.12.2017).
17. Grime J. P. FRS. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. Chichester, N.Y., Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley and Sons, LTD, 2001. 417 p.
18. Marr J. W., Willard B. E. Persisting vegetation in an alpine recreation area in the Rocky Mountains, Colorado // Biological Conservation. 1970. V. 2. No. 2. P. 97–104.
19. 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 of Conferences. 2016. V. 48. No. 05002. P. 1–4. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/11/mateconf_tomsk2016_05002.pdf (December 15, 2017).
20. Prince S. D. Spatial and temporal scales of measurement of desertification // Global desertification: do humans create deserts? Berlin: Dahlem University Press, 2002. P. 23–40.
21. Report of the International Workshop on Dryland Degradation Assessment (LADA) Initiative. FAO. Rome, 5–7 December, 2000.
22. 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 December, 1973. 1973. V. 1. P. 309–317. URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022592.pdf> (December 15, 2017).
23. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceri K. W. Image to Image: 25 years of image analysis // Nature Methods. 2012. No. 9. P. 671–675.
24. Snel M., Bot A. Some suggested indicators for land degradation assessment of drylands // Land degradation assessment in drylands (LADA). International Electronic Mail Conference: Proc. Conf. 9 October – 4 November, 2002. P. 364–374.
25. Svarovskaya L. I., Altunina L. K., Yashchenko I. G. Hierarchical dependence of oil pollutions impact on biological systems in the north of West Siberia // AIP Conf. Proc. 2015. V. 1683. No. 020225. P. 1–4. URL: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4932915> (December 15, 2017).
26. Zobel M., Kalamees R. Diversity and dispersal — can the link be approached experimentally? // Folia Geobotanica. 2005. V. 40. P. 3–11.

Comprehensive assessment of degradation of snow dump vegetation

O. S. Tokareva¹, O. A. Pasko¹, N. S. Ushakova², E. S. Makartsova¹, L. A. Fedorova¹

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk 634030, Russia
E-mails: ost@tpu.ru, oap@tpu.ru

² Department of Natural Resources and Environmental Protection
of Tomsk Oblast, Tomsk 634041, Russia
E-mail: ushakova@green.tsu.ru

The results of a comprehensive assessment of vegetation degradation in the territory of three snow dumps in Tomsk using remote sensing data of the Earth and ground-based research are presented in the article. Using the space images of high spatial resolution, it was identified that the anthropogenic impact on the vegetation cover of snow dump sites corresponds to the fourth of the five levels at which a radical change in the ecosystem takes place. Seasonal changes in the NDVI values in snow dumps and background sites were studied on the basis of data from the Landsat 8 (OLI) satellite during the vegetation seasons of three years. It is shown that the average values of the NDVI areas of snow dumps are from two to five times lower than the background values with close biomass dynamics at the beginning of the vegetation season. According to the ground-based studies in the territories of snow dumps, a decrease in the projective coverage and species saturation of vegetation and plant density was identified. The reason is extreme conditions of growth: high content of sand fraction, drought, subcooling of the soil in the initial period of development, alkaline reaction and salinity of the soil, absence of humus, which contribute to the settlement of the territory by individual forms of the most adapted species.

Keywords: vegetation index, species saturation, degradation, remote sensing, space image, soil, vegetation, snow dump

Accepted: 03.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-75-83

References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A., Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektroradiometra MODIS (Mapping of Russia's vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 285–302.
2. Varlamova E. V., Solov'ev V. S., Issledovanie variatsii indeksa NDVI tundrovoy i taezhnoy zon Vostochnoy Sibiri na primere territorii Vostochnoy Yakutii (Research of NDVI variations of the tundra and taiga zones of Eastern Siberia on the example of the Eastern Yakutia territories), *Optika atmosfery i okeana*, 2014, Vol. 27, No. 10, pp. 891–894.
3. Voronov A. G., *Geobotanika* (Geobotany), Moscow: Vysshaya shkola, 1973, 384 p.
4. Glazunov G. P., *Teoriya vetrovoi erozii pochvy: Diss. dokt. biol. nauk* (Theory of wind erosion. Dr. biol. sci. thesis), Moscow: MGU, 2004, 211 p.
5. State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2014", URL: <http://www.ecogsdoklad.ru/> (accessed 15.12.2017). (In Russ.)
6. State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2014", Moscow: Minprirody of Russia, NIA-Priroda, 2016, 639 p., URL: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/62f/dokl2015.pdf> (accessed 15.12.2017). (In Russ.)
7. Grigor'ev A. I., *Indikatsiya sostoyaniya okruzhayushchei sredy* (Indication of environment state), Omsk: OmIPP, 2003, 128 p.
8. *Degradation of land resources in Central Asia*. Final report reviewed and corrected. ADB TA 6356-REG: Central Asian Countries Initiative for Land Management Multicountry Partnership Framework Support Project, 2008, 153 p., URL: http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/pdf/gis-final-report-ru.pdf (accessed 15.12.17). (In Russ.)
9. Kachinskii N. A., *Fizika pochvy* (Soil physics), Part 1, Moscow: Vysshaya shkola, 1965, 324 p.

10. *The United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*, Paris, 1994, 43 p., URL: <http://www.cawater-info.net/library/rus/desert.pdf> (accessed December 15, 2017). (In Russ.)
11. Krival'tsevich S. V., *Distsionnoe zondirovanie degradirovannykh pochv: Diss. kand. tekhn. nauk* (Remote sensing of degraded soils. Cand. techn. sci. thesis), Barnaul: OmGPU, 2005, 162 p.
12. Manakov Yu. A., Analiz pionernoi stadii singeneza na otvalakh peschanikovyykh porod (Analysis of pioneering stage of syngeneis on sandstone rocks), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, No. 5, pp. 49–54.
13. Pas'ko O. A., Tokareva O. S., Ushakova N. S., Makartsova E. C., Gaponov E. A., Primenenie sputnikovyykh metodov issledovaniy dlya otsenki sostoyaniya territorii snezhnykh otvalov (The application of satellite methods of research in monitoring snow dumps), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 20–28.
14. Tsyplenkova I. V., Gavrilova N. V., Sovremennoe sostoyanie sel'skokhozyaystvennykh ugodii i razvitiye degradatsionnykh protsessov v Omskoi oblasti s pozitsii ekologicheskogo analiza (The present-day situation of rural areas and the development of degradation processes in Omsk region from the point of ecological analysis), *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 3, available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13699> (accessed 15.12.2017).
15. Convention on biological diversity. United Nations, 1992. URL: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf> (accessed 15.12.2017).
16. Di Gregorio A., *Land Cover Classification System. Classification concept. Software version 3*. Rome: FAO, 2016. URL: <http://www.fao.org/3/a-i5232e.pdf> (accessed 15.12.17).
17. Grime J. P., *FRS. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*, Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley & Sons, LTD, 2001, 417 p.
18. Marr J. W., Willard B. E., Persisting vegetation in an alpine recreation area in the Rocky Mountains, Colorado, *Biological Conservation*, 1970, Vol. 2, No. 2, pp. 97–104.
19. 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 of Conferences*, 2016, Vol. 48, No. 05002, pp. 1–4, available at: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/11/mateconf_tomsk2016_05002.pdf (accessed 15.12.17).
20. Prince S. D., Spatial and temporal scales of measurement of desertification, In: *Global desertification: do humans create deserts?* Berlin: Dahlem University Press, 2002, pp. 23–40.
21. *Report of the International Workshop on Dryland Degradation Assessment (LADA) Initiative*, FAO, Rome, 5–7 December, 2000.
22. 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) Symposium*, Proc. Conf., USA, Washington, 10–14 December, 1973, Vol. 1, pp. 309–317, available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022592.pdf> (accessed 15.12.17).
23. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceri K. W., Image to Image: 25 years of image analysis, *Nature Methods*, 2012, No. 9, pp. 671–675.
24. Snel M., Bot A., Some suggested indicators for land degradation assessment of drylands, *Land degradation assessment in drylands (LADA)*, *International Electronic Mail Conference*, Proc. Conf., 9 October – 4 November, 2002, pp. 364–374.
25. Svarovskaya L. I., Altunina L. K., Yashchenko I. G., Hierarchical dependence of oil pollutions impact on biological systems in the north of West Siberia, *AIP Conference Proceedings*, 2015, Vol. 1683, No. 020225, pp. 1–4, available at: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4932915> (accessed 15.12.17).
26. Zobel M., Kalamees R., Diversity and dispersal — can the link be approached experimentally? *Folia Geobotanica*, 2005, Vol. 40, pp. 3–11.