

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 910.26:528.77

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ТЕМПОВ САМОЗАРАСТАНИЯ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ
КИЗЕЛОВСКОГО БАССЕЙНА****Алексей Николаевич Чашин**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6349-3055>

e-mail: chascshin@mail.ru

*Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь***Мария Александровна Кондратьева**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2514-6925>

e-mail: pochva@pgsha.ru

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь

С помощью материалов дистанционного зондирования изучены характер и темпы естественного зарастания растительностью поверхности угольных отвалов Кизеловского бассейна. По результатам анализа снимков серии Landsat 5, Sentinel-2 и покрытия ESRI World Imagery на поверхности отвалов выявлены три типа поверхностей, соответствующие двум типам растительности – травянистой и древесной, а также пустошам. Установлены площади зарастания для каждого типа растительности и дана оценка состояния растительного покрова на основе индекса NDVI. Выявлена динамика процессов самозарастания с момента прекращения эксплуатации отвалов до наших дней. Спустя 20–40 лет с момента прекращения эксплуатации степень зарастания поверхности отвалов составляет 36–61% их общей площади. На поверхности 20–летних отвалов шахт «Крупская» и «Центральная» преобладает травянистая растительность, составляющая 73–100% площади зарастания. С возрастом отвалов в структуре растительного покрова увеличивается доля древесной растительности: на отвале шахты «1 Мая» она занимает 60% площади зарастания. В соответствии со средними значениями NDVI 0,37–0,59 состояние растительности отвалов характеризуется низкой и средней степенью развития биомассы. При выявленных темпах самозарастания фоновые значения NDVI могут быть достигнуты через 18–35 лет.

Ключевые слова: угольные отвалы, самозарастание, индекс NDVI, Landsat, Sentinel-2, данные дистанционного зондирования.

**USING REMOTE SENSING DATA TO ASSESS THE SELF-OVERGROWTH
RATES OF COAL DUMPS IN THE KIZEL BASIN****Aleksey N. Chashchin**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6349-3055>

e-mail: chascshin@mail.ru

Perm State Agro-Technological University

Maria A. KondratevaORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2514-6925>

e-mail: pochva@pgsha.ru

Perm State Agro-Technological University

The nature and rate of natural overgrowth of the coal dumps surface in the Kizel basin are studied using remote sensing data. According to the analysis of Landsat-5 and Sentinel-2 images and ESRI World Imagery high-resolution mosaic, there were identified three types of surfaces, corresponding to two types of vegetation – grass and tree, and also wastelands. The vegetation areas were calculated for each type, and the state of vegetation was estimated based on the NDVI index. The dynamics of self-overgrowth processes has been studied since the termination of the dumps operation to the present day. After 20–40 years, the degree of the dumps surface overgrowth constitutes 36–61% of their total area. Grassy vegetation prevails on the surface of 20-year-old dumps of the Krupskaya and Central mines, making up 73–100% of the overgrowth area. The tree-covered area increases with the age of coal dumps: on the dumps of the ‘May 1’ mine it covers 60% of the overgrowth area. In accordance with the average NDVI values of 0.37–0.59, the state of the dumps vegetation is characterized by a low and average degree of biomass development. At the identified rates of self-overgrowth, NDVI values can reach those typical of natural landscapes in 18–35 years.

Key words: coal dumps, self-overgrowth, NDVI index, Landsat, Sentinel-2, remote sensing data.

Введение

Изучение процессов посттехногенного восстановления ландшафтов является актуальной проблемой районов разработки месторождений, так как под отвалы пустой породы и открытые разработки угольной промышленности в России ежегодно изымается от 6 до 8 тыс. га земель. Эксплуатация Кизеловского угольного бассейна на территории Пермского края велась с 1797 по 1997 г. За это время общая площадь техногенных ландшафтов, утративших природные характеристики под влиянием угледобычи, составила 456 га. На территории городского округа г. Губаха отвалами занято 72 га площади [2]. В нарушенных ландшафтах идут процессы естественного самозарастания. Однако восстановительные сукцессии в сильно нарушенных ландшафтах, к которым можно причислить и районы угледобычи, отличаются замедленной скоростью смен растительности, задержкой на нелесных или даже пионерных стадиях, высокой степенью синантропизации и адвентизации растительности на всех стадиях [1, 6, 7, 9, 10]. В условиях таежной зоны на скорость лесовосстановления на отвалах влияет комплекс факторов, важнейшими из которых являются характер грунта, его физические и химические свойства, наличие источников семян, микрорельеф отвалов [1, 7, 9, 10]. Снижению темпов восстановления растительного покрова на исследуемой территории способствуют токсичность пород отвалов, их неблагоприятные водно-физические и физико-химические свойства [2, 13, 14].

Цель исследования заключается в выявлении характера и темпов самозарастания отвалов угольных шахт Кизеловского угольного бассейна на территории городского округа Губаха с помощью данных дистанционного зондирования Земли.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются угольные отвалы шахт на территории Кизеловского угольного бассейна в границах городского округа Губаха (рис. 1).

Территория округа расположена в подзоне южной тайги на западном склоне Среднего Урала. Коренной тип растительности – темнохвойные елово-пихтовые и пихтово-еловые леса, которые в настоящее время занимают небольшую площадь. На значительной части территории преобладают вторичные березняки и смешанные леса [11, 12].

Изучение процессов естественного зарастания производилось на примере трех отвалов шахт «1 Мая», «Крупская» и «Центральная» (№15) (рис. 1). Время прекращения эксплуатации отвалов определялось временем закрытия шахт: 1972 г. – «1 Мая», 1993 г. – «Крупская», 1996 г. – «Центральная». Таким образом, отвалы образуют соответствующий хронологический ряд.

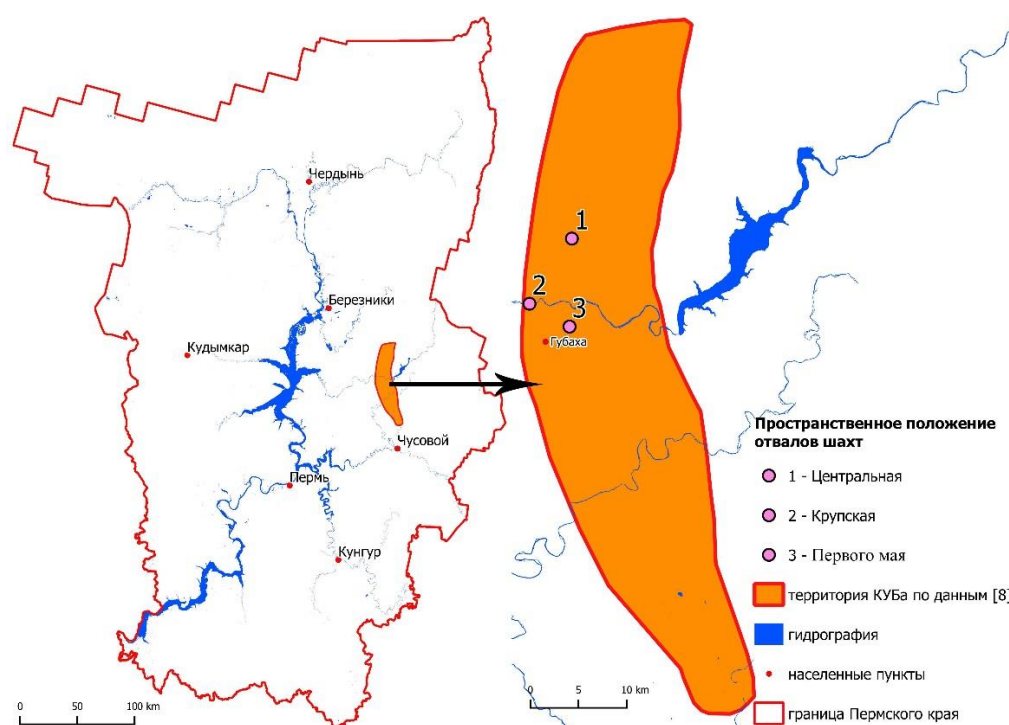
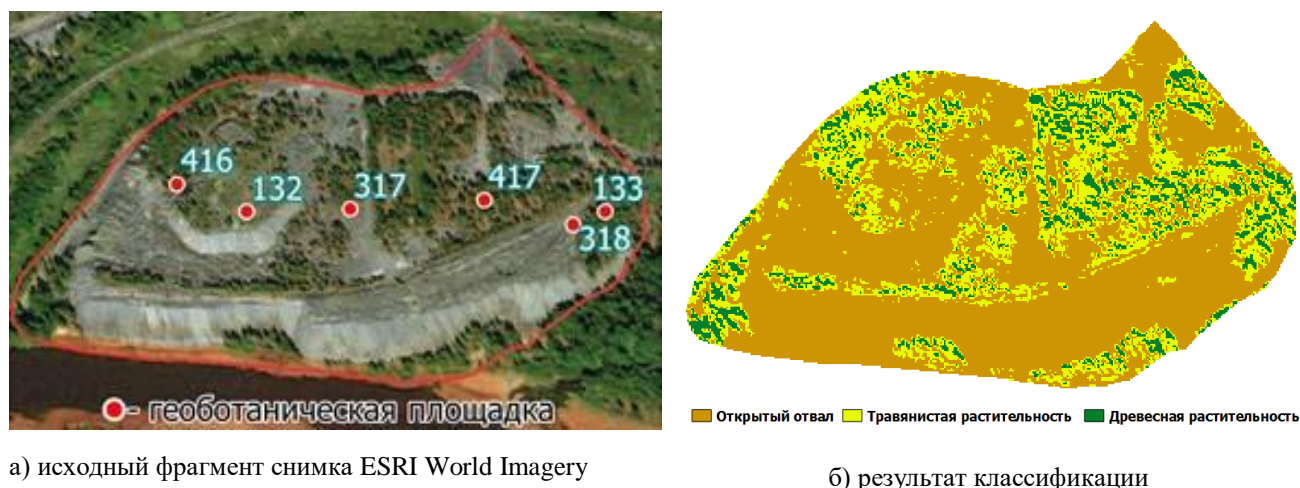


Рис. 1. Картограмма пространственного положения отвалов угольных шахт

Площади отвалов занимают 5–7 га, наименьшую площадь имеет отвал шахты «Центральная». Форма планировки отвалов различна: отвал шахты «Центральная» имеет коническую форму. Его поверхность представляет собой систему плосковершинных гряд высотой 5–6 м и понижений между ними. Отвал шахты «Крупская» имеет плоскую вершину и террасированные западный и восточный склоны, южный склон круто обрывается к р. Косьва. Отвал шахты «1 Мая» не имеет четкой планировки, он располагается на склоне горы Крестовая, в его центральной части выделяются две конусообразные вершины. Породы отвалов представляют собой смесь мелкозема с обломками вскрышных пород – пиритизированных аргиллитов, алевролитов и тонкозернистых песчаников с включениями каменного угля [2].

Почвенно-геоботанические исследования на отвалах проводились в течение 2014–2017 гг. В общей сложности было заложено и описано 20 геоботанических площадок, в том числе на отвале шахты «Центральная» – 9, «Крупская» – 6, «1 Мая» – 5.

Для оценки темпов зарастания угольных отвалов использованы космические снимки высокого разрешения Landsat 5 (пространственное разрешение 30 м на пиксель), Sentinel-2 (пространственное разрешение 10 м на пиксель) и высокодетальные снимки (0,5 м) покрытия ESRI Satellite (ArcGIS/World_Imagery), полученные при помощи модуля Quick Map Services QGIS. Спутниковые снимки Landsat 5 [5] обработаны за период с 1986 по 2011 г., снимок Sentinel-2 – от 30.07.2018 г., снимки ESRI Satellite (ArcGIS/World_Imagery) – от 21.08.2016 г. Расчет спектрального индекса NDVI и картографические материалы выполнялись в программе QGIS [6]. Идентификация растительности осуществлялась методом неконтролируемой классификации (ISODATA) высокодетальных снимков ESRI World Imagery в программе MultiSpec. При кластерном анализе методом ISODATA, основываясь на полевых наблюдениях, задавалось 3 класса поверхностей: 1-й класс – открытая поверхность отвала (пустошь), 2-й класс – травянистая растительность и 3-й класс – древесная растительности (рис. 2).



а) исходный фрагмент снимка ESRI World Imagery

б) результат классификации

Рис. 2. Пример растра классификации покрытия угольного отвала (шахта «Крупская») с указанием геоботанических площадок

Растровое изображение выявленных классов преобразовывалось в векторные полигоны. Полигоны, имеющие общий класс, объединялись, а их площадь вычислялась калькулятором полей в QGIS. По высокодетальным снимкам на поверхности отвалов выделено 2 типа растительности – травянистая и древесная, а также пустоши.

Результаты и их обсуждение

По материалам геоботанического обследования на поверхности отвалов было выделено несколько типов растительных группировок, соответствующих стадиям посттехногенной сукцессии. Пионерные растительные группировки представлены мать-и-мачехой (*Tussilago fârfara*), полынь обыкновенной (*Artemisia vulgâris*), метлицей полевой (*Apêra spîca-vênti*), проростками березы (*Bêtula*). Степень проективного покрытия не превышает 15–20%.

В составе более сложных группировках присутствуют лютик едкий (*Ranûnculus âcris*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgâris*), пырей ползучий (*Agropyron rêpens*), горошек мышиный (*Vîcia crâcca*), подмаренник цепкий (*Galium aparine*), иван-чай узколистный (*Chamaenêrion angustifolium*). Преобладают многолетние растения, большинство из которых принадлежит к сорным и рудеральным видам. Степень проективного покрытия таких сообществ может достигать 80%. Однако сложные травянистые сообщества, по данным полевых исследований, имеют весьма ограниченное распространение.

В группировках с древесной растительностью ведущая роль принадлежит одновидовым сообществам березы (*Bêtula pendula*). Сомкнутость древостоев может достигать 50–60%. Надпочвенный покров, как правило, разрежен, преобладают мхи и лишайники. Степень проективного покрытия редко превышает 25%, но в ряде случаев может достигать 60% и более.

По данным дистанционного зондирования современные площади зарастания поверхности отвалов и состав сформировавшихся растительных группировок значительно варьируют. Максимальную площадь зарастания 6 га (86% площади) имеет самый «старый» отвал шахты «1 Мая» (табл. 1). В составе растительности преобладает древесная, которая занимает 3,6 га. Травянистая растительность представлена изолированными участками общей площадью 2,4 га. Пустоши приурочены к конусообразным возвышениям (рис. 3).

Отвал шахты «Центральная» имеет наименьшую площадь 5,2 га и характеризуется наличием только травянистой растительности. Площадь зарастания составила 2,2 га (42%)

(рис. 4). Наиболее крупный ареал зарастания сплошного характера расположен на выположенном участке у основания отвала и продолжается в ложбинообразном понижении на его западном склоне. На выпуклых северных и восточных склонах сформировались разреженные микроареалы площадью от 0,01 до 0,05 га. Относительно слабая степень зарастания поверхности отвала связана с особенностями рельефа – значительным перепадом высот между подножием и вершиной и преобладанием склоновых поверхностей.

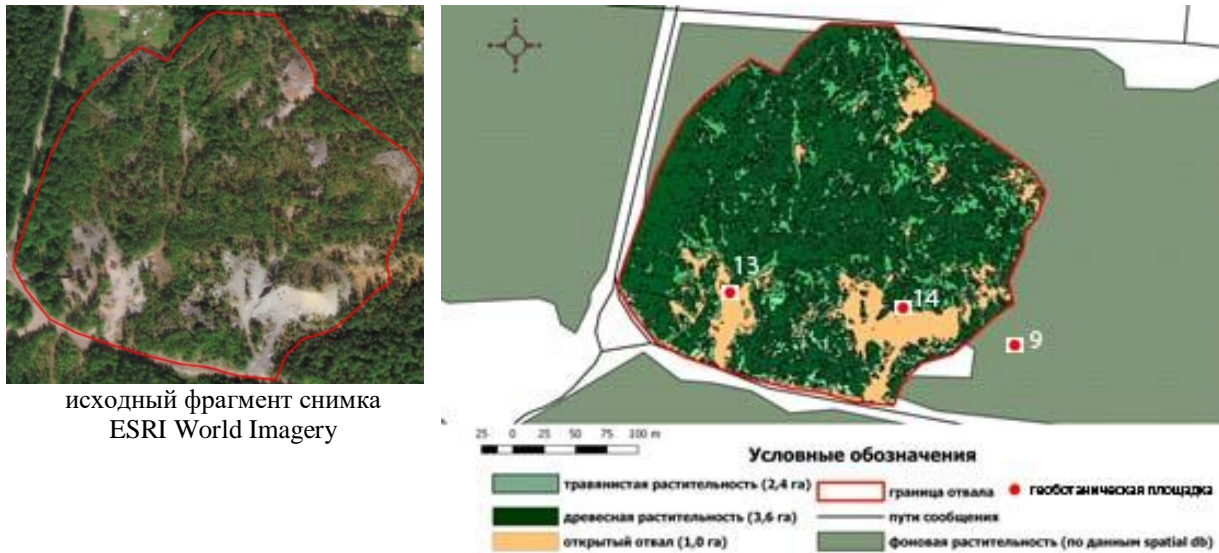


Рис. 3. Типы растительности на поверхности отвалов шахты «1 Мая»

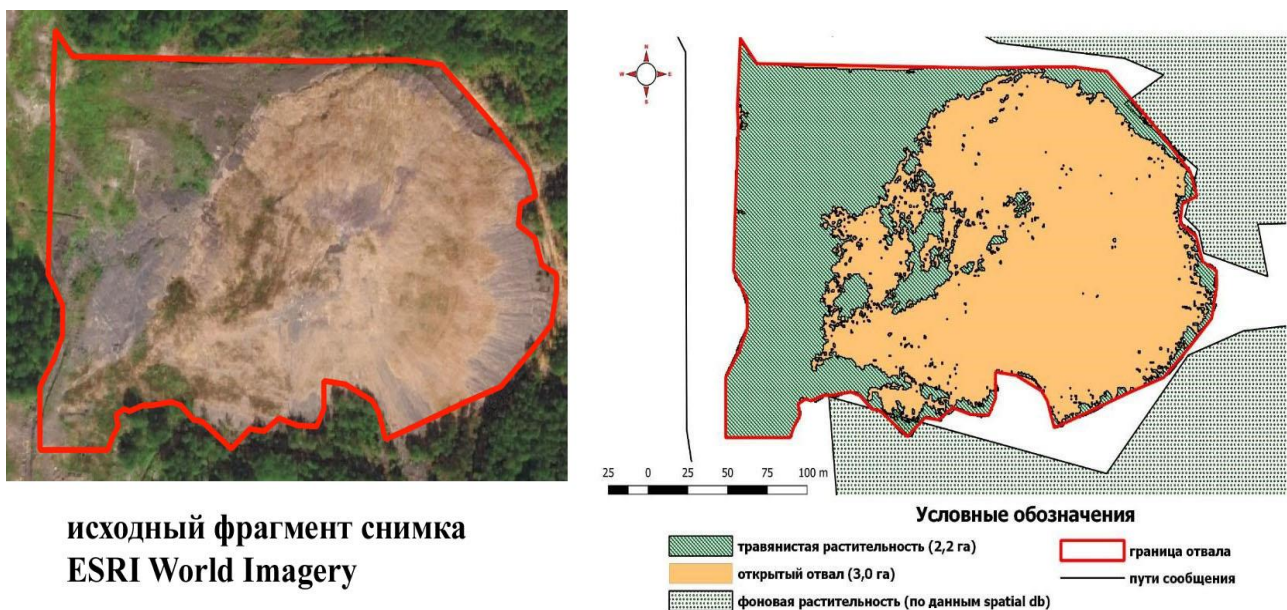


Рис. 4. Типы растительности на поверхности отвалов шахты «Центральная»

Площадь поверхности, занятая растительностью на отвале шахты «Крупская», оказалась наименьшей – всего 2,6 га, или 36% общей площади (табл. 1). В структуре растительности преобладает травянистая 1,9 га (рис. 5). На плоской вершине отвала выделяется множество очагов зарастания, представляющих собой сочетания травянистой и

древесной растительности. Плотность растительности максимальна в замкнутом понижении в восточной части отвала, а также на относительно пологом северо-западном склоне. Менее всего задернованы крутые склоны южной экспозиции.

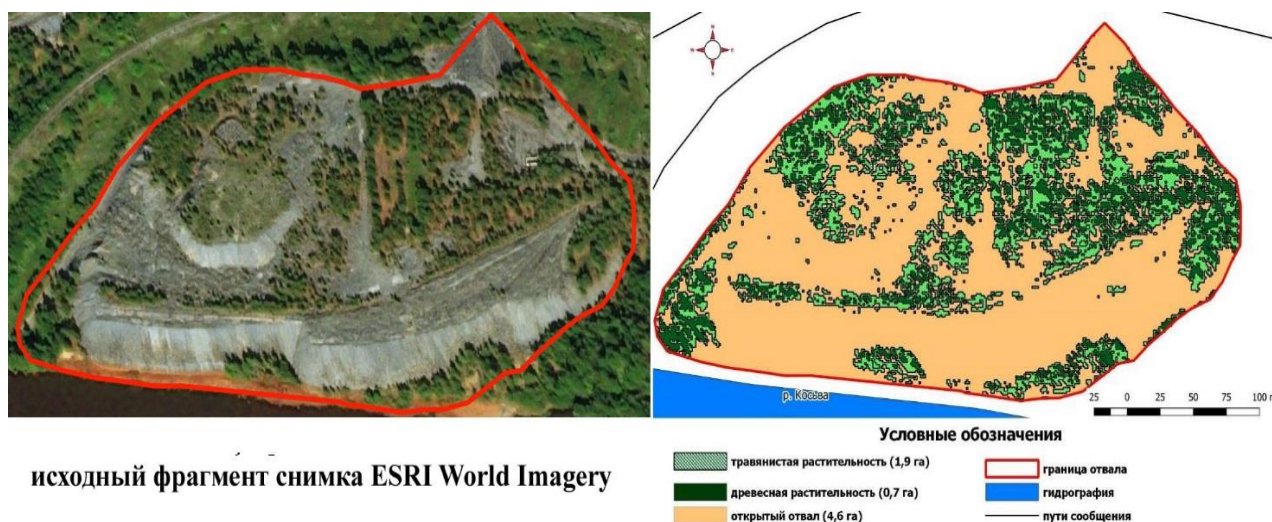


Рис. 5. Типы растительности на поверхности отвалов шахты «Крупская»

Таким образом, степень зарастания отвалов увеличивается с их возрастом и варьирует от 36–42% на отвалах шахт «Крупская» и «Центральная» до 86% на отвале «1 Мая».

Таблица 1

Площади зарастания отвалов

Показатель	Отвалы шахт		
	«Центральная»	«Крупская»	«1 Мая»
Площадь отвала, га	5,2	7,2	7,0
Площадь зарастания, га/%	2,2/42	2,6/36	6,0/86
В том числе:			
– травянистая растительность	2,2/100	1,9/73	2,4/40
– древесная растительность	–	0,7/27	3,6/60

В структуре растительного покрова «молодых» отвалов шахт «Крупская» и «Центральная» значительно преобладает травянистая растительность, составляющая 73–100% площади растительного покрова, что в целом согласуется с представлениями о восстановительных сукцессиях в нарушенных ландшафтах [1, 6, 9, 10]. С увеличением возраста отвалов повышается доля древесной растительности, о чем свидетельствует состав растительного покрова на отвале шахты «1 Мая».

Для оценки биологической продуктивности фитоценозов использовался вегетационный индекс (NDVI):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближнем инфракрасном канале снимка; RED – отражение в красном канале снимка [15].

Величина NDVI зависит от общей биомассы растений. Для территории, покрытой зеленой растительностью, значение NIR всегда больше RED. На основе экспериментальных данных установлено, что у растений в нормальном состоянии NDVI находится в интервале от 0,6 до 0,7, низкие значения индекса (в интервале 0,3–0,4) свидетельствуют об угнетенном состоянии или малой зеленой биомассе растительного покрова [4].

Для точного выделения растительности отвалов были созданы маски снимков в границах отвалов. Оценка состояния растительности производилась в соответствии со шкалой (табл. 2).

Таблица 2
Значения NDVI и соответствующие им состояния растительного покрова [3, 16]

Значение индекса	Степень развития зеленой биомассы
0–0,2	Отсутствие биомассы
0,2–0,3	Низкая степень развития биомассы
0,3–0,6	Средняя степень развития биомассы
0,6–1,0	Высокая степень развития биомассы

Для более детального анализа состояния растительного покрова выделенные контуры типов растительности наложены на изображение индекса NDVI, рассчитанного по спутниковому снимку Sentinel-2 от 30 июля 2018 г. По результатам обработки полученного NDVI-изображения модулем «Зональная статистика» QGIS были получены статистические показатели основных типов покрытия исследованных отвалов (табл. 3).

Таблица 3
Статистика NDVI поверхности угольных отвалов шахт

Название отвала	Тип покрытия	Показатель						
		<i>n</i>	Среднее	Погрешность	Мин	Макс	Интервал	Дисперсия
«Центральная»	Весь отвал	523	0,37	0,19	0,10	0,83	0,73	0,035
	Травянистая растительность	200	0,50	0,17	0,10	0,83	0,69	0,030
«Крупская»	Весь отвал	719	0,38	0,21	0,03	0,82	0,79	0,042
	Травянистая растительность	172	0,50	0,16	0,10	0,81	0,71	0,028
	Древесная растительность	73	0,53	0,17	0,12	0,82	0,69	0,025
«1 Мая»	Весь отвал	698	0,59	0,16	0,10	0,83	0,73	0,026
	Травянистая растительность	240	0,59	0,13	0,12	0,82	0,70	0,017
	Древесная растительность	367	0,65	0,12	0,13	0,83	0,70	0,014

Наличие растений определяется значениями NDVI от 0,1 (табл. 2). Для фоновой растительности в данной местности значения индекса находятся в диапазоне 0,80–0,83.

Геоботаническое описание фоновой растительности приводится для площадки 9 (рис. 3). Фоновая растительность в окрестностях отвала шахты «1 Мая» представлена смешанным лесом: в первом ярусе – ель обыкновенная (*Picea abies*), береза повислая (*Betula pendula*), осина (*Pópulus trémula*), в кустарниковом ярусе – малина (*Rúbus idáeus*). Напочвенный покров образуют: черника (*Vaccínium myrtíllus*), иван-чай узколистый (*Chamaenérion angustifolium*), фиалка трехцветная (*Víola trícólor*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), метлица обыкновенная (*Apera pica-venti*), полынь обыкновенная (*Artemísia vulgáris*), пырей ползучий (*Agropyron répens*).

Состояние растительного покрова на поверхности отвалов характеризуется значениями NDVI от 0,50–0,68 (средняя степень развития биомассы) до 0,81–0,83 (высокая степень развития биомассы). Значения индекса открытой поверхности отвалов варьируют в пределах 0,01–0,08 (табл. 3).

По данным статистической обработки для древесной растительности, представленной главным образом одновидовыми сообществами березы, характерны более высокие значения NDVI 0,53–0,65, чем для травянистой, – 0,5 (табл. 3). Полученные величины NDVI поверхности отвалов оказались существенно ниже фоновых. Таким образом, в соответствии со значениями вегетационного индекса состояние растительности на отвалах в целом характеризуется как удовлетворительное и соответствует средней степени развития биомассы.

Наиболее высокие значения NDVI 0,82–0,83 получены для древесной растительности на отвале шахты «1 Мая» (рис. 8). Для травянистого покрова они составили 0,48–0,56, открытая поверхность в восточной части отвала характеризуется значениями 0,10–0,12; древесная растительность на отвале шахты «Крупская» – значениями вегетационного индекса в пределах 0,56–0,82. Значения NDVI для травянистой растительности не превышают 0,42, для открытой поверхности отвала 0,04–0,12. NDVI травянистой растительности на северо-западе отвала шахты «Центральная» со значениями 0,68–0,72 характеризуется как высокий. Пустоши показывают значения вегетационного индекса 0,14–0,24.

Для сопоставления карты NDVI с характером покрытия приведем пример описания растительности в точках 416 и 417 (отвал шахты «Крупская»), соответствующей значениям NDVI 0,6–0,8. Данные участки представлены одновидовыми сообществами березы. Высота древостоев 4–5 м, сомкнутость крон 50–60%. Надпочвенный покров образуют мхи и лишайники, проективное покрытие составляет не более 25%. В точке 417 проективное покрытие – 60%, в его составе наряду с мхами присутствуют травы: копытень европейский (*Asarum europaeum*), щитовник (*Dryopteris filix-mas*), незабудка (*Myosotis*).

Средний уровень развития биомассы характеризует геоботанические площадки в точке 132 и 317 (рис. 7). Площадка в точке 132 соответствует травянисто-кустарниковой растительной группировке. Травы и злаки представлены следующими видами: кипрей узколистный (*Epilobium angustifolium*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), фиалка трехцветная (*Viola tricolor*), пырей ползучий (*Agropyron répens*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), метлица полевая (*Apéra spíca-vénti*). Из кустарников присутствуют малина (*Rubus idaeus*), единично подрост ели обыкновенной (*Píceа obováta*), осины (*Populus tremula*).

Геоботаническая площадка в точке 317 представлена березовым молодняком. Высота древостоя составляет не более 5 м, сомкнутость крон – 60%. В надпочвенном покрове преобладают мхи и лишайники. Из травянистых растений присутствуют: манжетка (*Alchemilla vulgaris*), мышиный горошек (*Vícia crácca*), подмаренник ползучий (*Galium odoratum*), единично лютик ползучий (*Ranunculus repens*). Проективное покрытие составляет 90%.

Низкой степени развития биомассы соответствуют геоботанические площадки в точках 13 и 14 (отвал шахты «1 Мая») (рис. 3). Растительность на площадке 13 – мхи и лишайники, проективное покрытие составляет 40%. В точке 14 проективное покрытие – не более 20%. Растительность представлена полынью обыкновенной (*Artemisia vulgáris*), мать-и-мачехой (*Tussilágo fárfara*), проростками березы.

Значения NDVI менее 0,2 единиц характеризует площадка в точке 318, заложенная на террасе в юго-восточной части отвала шахты «Крупская». Поверхность участка камениста, сложена углефицированными породами, растительность отсутствует.

Таким образом, полученные значения вегетационного индекса удовлетворительно увязываются с результатами натурных исследований.

Дистанционным доказательством протекающих процессов зарастания отвалов угольных шахт являются разновременные данные за 32-летний период: с 1986 по 2018 г. (Landsat 5 с 1986 по 2011 г. и Sentinel-2 за 2018 г.). На основе полученных спутниковых снимков в границах исследованных отвалов нами были рассчитаны средние значения NDVI, характеризующие степень покрытия поверхности растительностью и ее состояние (рис. 6).

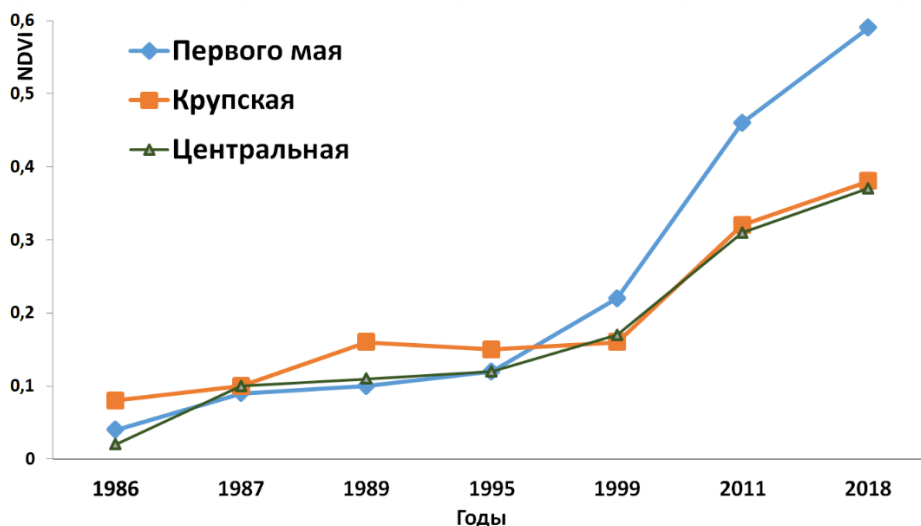


Рис. 6. Динамика средних значений NDVI поверхности отвалов угольных шахт с 1986 по 2018 г.

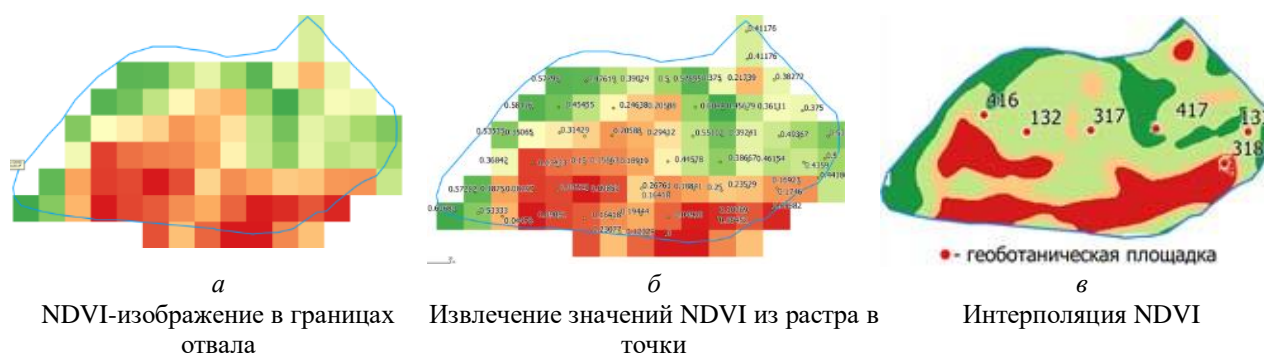


Рис. 7. Преобразование NDVI – изображения в картограмму на примере отвала шахты «Крупская»

Немногочисленная выборка разновременных снимков обусловлена метеоусловиями территории. Участки отвалов в большинстве дат съемки покрыты облаками.

Графики динамики NDVI поверхности отвалов имеют вид кривых показательной функции (рис. 6). Фаза медленного зарастания составляет 10–20 лет, после чего следует фаза ускоренного зарастания, продолжающаяся по настоящее время. На начало наблюдений в 1986 г. все отвалы характеризовались низкими значениями NDVI 0,02–0,084, которые были ниже пороговых значений для растительности. Важно отметить, что при этом отвалы шахт «Крупская» и «Центральная» продолжали эксплуатироваться, в то время как шахта «1 Мая» и ее отвал были уже законсервированы. Увеличение темпов прироста NDVI отмечается с 1999 г., после прекращения эксплуатации всех объектов. При этом наибольший прирост показателя характерен для отвала «1 Мая», возраст которого составлял на тот момент 23 года. Учитывая среднюю скорость прироста показателя NDVI 0,009–0,014 в год, для достижения фоновых значений на уровне 0,80 потребуется период 18–35 лет.

Охарактеризовать общее направление зарастания исследованных отвалов позволяют картограммы динамики индекса растительности. Изображения NDVI, рассчитанного по снимку Landsat, с разрешением 30 м будут наглядны и хорошо информативны для участков размером в десятки гектар и выше. Следовательно, в границах существующих отвалов NDVI-изображения очень грубо характеризуют ареалы развития высших сосудистых растений (рис. 7, а). Поэтому нами выполнены картограммы NDVI методом интерполяции (рис. 7).

Они свидетельствуют об общем направлении и характере зарастания (рис. 8), которые контролируются рельефом: относительной высотой отвалов, крутизной, экспозицией и формой склонов. Проводниками растительности от подножия к вершинам отвалов являются ложбинообразные понижения, например, на отвале «1 Мая» и западном склоне отвала шахты «Центральная». Пологие склоны в западной и северной частях отвала «Крупская» также являются проводниками для растительности.

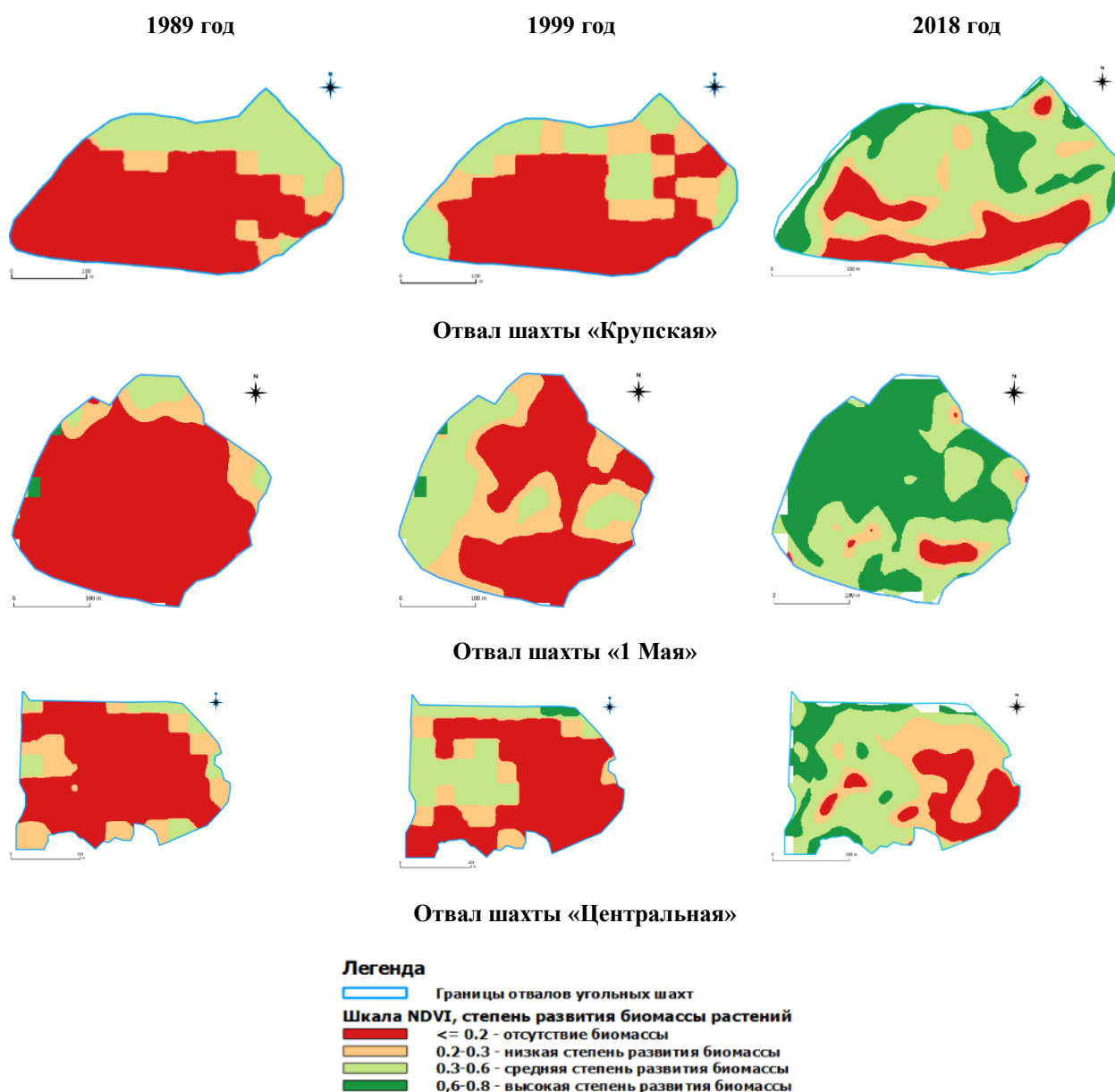


Рис. 8. Картограммы динамики индекса растительности NDVI

Склоны северной экспозиции с менее контрастным температурным режимом зарастают интенсивнее. На плоской поверхности отвала шахты «Крупская» быстрее зарастают замкнутые понижения, где складывается более благоприятный питательный и водный режим и лучше закрепляются семена. Менее всего покрыты растительностью крутые склоны, находящиеся под постоянным воздействием плоскостной и линейной эрозии, мешающей закрепиться семенам растений. Пустоши приурочены к конусообразным вершинам отвалов и крутым склонам.

Выводы

На основе анализа материалов дистанционного зондирования на поверхности угольных отвалов шахт Кизеловского бассейна («Центральная», «Крупская» и «1 Мая») выделены 2 типа растительности – травянистая и древесная, а также пустоши. Степень зарастания закономерно увеличивается с возрастом отвалов от 36–42% на отвалах шахт «Крупская» и «Центральная» до 86% на отвале шахты «1 Мая». На поверхности 20-летних отвалов преобладает травянистая растительность, ее доля составляет 73–100% общей площади зарастания. С возрастом отвалов в структуре растительности увеличивается доля древесных сообществ: на поверхности 42-летнего отвала «1 Мая» она достигает 60%.

Установлены значения NDVI для травянистой и древесной растительности, а также для участков пустошей. Последние подтверждаются значениями вегетационного индекса в диапазоне 0,01–0,20. Значения NDVI древесной растительности, представленной одновидовыми сообществами березы, выше, чем травянистой, и составляют соответственно 0,53–0,60 и 0,50–0,59. В соответствии с полученными значениями величина биомассы на отвалах значительно уступает окружающей их фоновой растительности – 0,80–0,83. Установлены соответствия между выделенными грациями NDVI и растительными группировками, описанными в ходе полевого обследования на геоботанических площадках.

Картограммы NDVI за период 1986–2018 гг. позволили проанализировать темпы и характер восстановления растительного покрова на отвалах. Продолжительность фазы медленного зарастания составляет 10–20 лет, после чего наступает фаза ускоренного зарастания, соответствующая современному состоянию отвалов. Наибольший темп самозарастания характерен для отвала «1 Мая». Процесс зарастания контролируется микрорельефом отвалов: проводниками растительности служат ложбинообразные понижения, замкнутые депрессии, пологие склоны. Современные участки пустошей приурочены к покатым и крутым склонам, а также склонам южной экспозиции.

При выявленных темпах самозарастания через 18–35 лет можно ожидать, что показатели биологической продуктивности на отвалах достигнут фоновых значений.

Библиографический список

1. Андроханов В.А., Куляпина, Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск, 2004. 151 с.
2. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты: монография. Пермь, 2010. 163 с.
3. Дубинин М. NDVI – теория и практика // GIS-Lab. 2011. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 14.10.2017).
4. Дубинин М. Вегетационные индексы // Географические информационные системы и дистанционное зондирование. 2006. URL: <http://gis-lab.info/qa/vi.html> (дата обращения: 14.10.2017).
5. Дубинин М. Получение бесплатных космических снимков LandsatTM, ETM+ через Glovis [Электронный ресурс] // GIS-Lab. 2011. URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-glovis.html> (дата обращения: 14.10.2017).
6. Дубынина С.С. Сингенез и продуктивность естественной растительности на отвалах угольного бассейна Красноярского края // Международный журнал экспериментального

образования. Англия (Лондон). 2015. № 11. С.143–145.

7. Кондрашин Е.Р. Сингенез и продуктивность естественной растительности и полукультурфитоценозов на отвалах угольных разрезов Кузбасса // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 163–172.

8. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения: монография. Пермь, 2018. 288 с.

9. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Начальные этапы почвообразования на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза при естественном зарастании их растительностью // Растения и промышленная среда. Свердловск: УРГУ, 1974. Сб. 3. С. 116–126.

10. Микрюкова Е.В. Динамика естественного зарастания отвалов угледобычи на Среднем Урале: автореф. дис. канд. с.-х. наук: 06.03.03: Екатеринбург, 2006. 25 с.

11. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермь: Изд-во ПГУ, 1997. 252 с.

12. Особо охраняемые природные территории Пермской области. Реестр. Пермь, 2002. С. 92–02.

13. Ульяничева А.А. Физико-химические свойства мелкозема субстратов угольного отвала Кизеловского угольного бассейна // Молодежная наука 2015: технологии, инновации: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Ч.1. Пермь: Изд-во ИПЦ «Прокрость», 2015. С. 309–312.

14. Ульяничева А.А., Смолякова А.Д. Водно-физические свойства и органическое вещество отвалов Кизеловского угольного бассейна // Молодежная наука 2017: технологии и инновации: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Ч 1. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2017. С. 209–211.

15. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. №2. С. 98–102.

16. Deforestation and Loss of Biodiversity Surrounds the Ethiopian Church Forests [Электронный ресурс] // Tree foundation. 2013. URL: <http://treefoundation.org/projects/church-forests-of-ethiopia/regional-view-of-deforestation/> (дата обращения: 14.10.2017).

References

1. Androkhanov, V.A. Kulyapina, E.D. and Kurachev, V.M. (2004), *Pochvy tekhnogennykh landshaftov: genezis i evolyutsiya* [Soils of technogenic landscapes: genesis and evolution], Izdatel'stvo Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk, Novosibirsk, Russia.

2. Voronchikhina, E.A. (2010), *Rekul'tivatsiya narushennykh landshaftov: teoriya, tekhnologii, regional'nyye aspekty: monografiya* [Reclamation of disturbed landscapes: theory, technology, regional aspects: monograph], Perm State University, Perm, Russia.

3. Dubinin, M. (2002), “NDVI Theory and Practice”, GIS-lab, available at: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (Accessed 14 October 2017).

4. Dubinin, M. (2006), “Vegetation indices: Geographic information systems and remote sensing”, GIS-Lab, available at: <http://gis-lab.info/qa/vi.html> (Accessed 14 October 2017).

5. Dubinin, M. (2011), “Obtaining free satellite images of Landsat TM, ETM + via Glovis”, GIS-Lab, available at: <http://gis-lab.info/qa/landsat-glovis.html> (Accessed 14 October 2017).

6. Dubynina, S.S. (2015), “Syngeneses and productivity of natural vegetation in the dumps of the coal basin of the Krasnoyarsk Territory”, *International Journal of Experimental Education*, London, England, no. 11, pp.143–145.

7. Kondrashin, E.R. (1979), “Syngeneses and productivity of natural vegetation and semi-cultures of phytocenoses on dumps of Kuzbass coal mines”, in Trofimov, S.S. (ed.), *Pochvoobrazovaniye v tekhnogennykh landshaftakh* [Soil formation in technogenic landscapes], Nauka, Novosibirsk, pp. 89–93.

8. Maksimovich N.G., Pyankov S.V. (2018) *Kizelovskiy ugol'nyy basseyn: ekologicheskiye problemy i puti resheniya: monografiya* [The Kizel coal basin: ecological problems and solutions], Perm, Russia.

9. Makhonina, G.I. and Chibrik, T.S. (1974), “Initial stages of soil formation in the dumps Kumertau brown coal mine with natural vegetation”, *Rasteniya i promyshlennaya sreda* [Plants and industrial environment], no.3, URGU, Sverdlovsk, Russia, pp.116–126.

10. Mikryukova, Y.V. (2006), Dynamics of natural overgrowing of coal mining dumps in the Middle Urals, Abstract of Ph.D. dissertation, Forest Studies and Forestry; forest fires and fighting them, Ural State Forestry University, Ekaterinburg, Russia.

11. Ovesnov, S.A. (1997), *Konspekt flory Permskoy oblasti* [Abstract of the flora of the Perm region], Izdatel'stvo Permskogo gosudarstvennogo universiteta, Perm, Russia.

12. Ovesnov, S.A. (ed.) (2002), *Osobo okhranyayemye prirodnyye territorii Permskoy oblasti. Reyster* [Specially Protected Natural Territories of the Perm Region. Registry], Knizhnyy mir, Perm, Russia.

13. Ulyanicheva, A.A. (2015), “Physico-chemical properties of fine-grained substrates of the coal dump of the Kizelovsky coal basin”, *Proc. of the All-Russian scientific-practical Conference “Molodezhnaya nauka 2015: tekhnologii, innovatsii”* [Youth Science 2015: technologies, innovations], Perm, Russia, 10-13 March 2015, pp. 309–312.

15. Ulyanicheva, A.A. and Smolyakova, A.D. (2017), “Water-physical properties and organic matter of mines dumps of the Kizelovsky coal basin”, *Proc. of the All-Russian scientific-practical Conference “Molodezhnaya nauka 2017: tekhnologii, innovatsii”* [Youth Science 2015: technologies, innovations], Perm, Russia, 13-17 March 2017, pp. 209–211.

16. Cherepanov, A.S. (2011), “Vegetation indices”, *Geomatica*, no. 2, pp. 98–102.

17. Tree foundation (2013), “Deforestation and Loss of Biodiversity Surrounds the Ethiopian Church Forests”, available at: <http://treefoundation.org/projects/church-forests-of-ethiopia/regional-view-of-deforestation/> (Accessed 14 October 2017).

Рукопись поступила: 08.11.2018

Сведения об авторах

Чащин Алексей Николаевич

кандидат биологических наук,
доцент кафедры почвоведения,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет;
Россия, 614990, г. Пермь,
ул. Петропавловская, 23

About the authors

Aleksey N. Chashchin

Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor, Department of Soil
Science, Perm State Agro-Technological
University named after Academician D.N.
Pryanishnikov;
23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russia

e-mail: chascshin@mail.ru

Кондратьева Мария Александровна

кандидат географических наук,
доцент кафедры почвоведения,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет;
Россия, 614990, г. Пермь,
ул. Петропавловская, 23

Maria A. Kondrateva

Candidate of Geographical Sciences, Associate
Professor, Department of Soil Science, Perm
State Agro-Technological University named
after Academician D.N. Pryanishnikov;
23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russia

e-mail: pochva@pgsha.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Чащин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №2(49). С. 135–147. doi 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.

Please cite this article in English as:

Chashchin A.N., Kondrateva M.A. Using remote sensing data to assess the self-overgrowth rates of coal dumps in the Kizel basin // Geographical bulletin. 2019. №2(49). P. 135–147. doi 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.