УДК 504.064.37

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44492](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44492)

Оригинальная статья

Методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования земли

А.В. Иванов , к.т.н., А.В. Стриженов , к.т.н., И.К. Супрун , к.т.н.

Санкт-Петербургский горный университет, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, e-mail: www.igor_suprun@mail.ru

Статья поступила: 19.09.2019, после рецензирования: 27.10.2019, принята к публикации: 07.11.2019

Аннотация: Актуальность работы. В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция к значительному увеличению объемов добычи и переработки минерального сырья, что, в свою очередь приводит к увеличению объемов промышленных отходов, преобладающим способом утилизации которых является наземное размещение в виде техногенных массивов. Такие техногенные массивы особенно сильно подвержены риску возникновения чрезвычайных ситуаций, которые могут повлечь за собой значительный социальный, экологический и экономический ущерб. В этой связи особую актуальность для общества, экономики и государства приобретает разработка и внедрение на территории воздействия хранилищ промышленных отходов систем экологического мониторинга, позволяющих оперативно выявлять источники техногенной нагрузки и осуществлять своевременную их ликвидацию. Одной из наиболее инновационных и развивающихся сфер экологического мониторинга на сегодняшний день является мониторинг состояния компонентов природной среды на основании данных дистанционного зондирования Земли, разработка которого является **целью работы**. Объект исследования – изучение и анализ геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов. **Методы исследования:** визуальное и автоматизированное (компьютерное) дешифрирование космоснимков. Под визуальным дешифрированием понимается процесс, выполняемый оператором. В противоположность этому автоматизированное (компьютерное) дешифрирование – это программная обработка снимков на компьютере при помощи специальных программ. **Результаты работы.** В данной работе представлены основные методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования Земли. Наиболее достоверным методом дешифрирования геоэкологических условий является работа с данными многовременной космосьёмки. Данный метод позволяет определить не только качественные, но и количественные показатели экологического состояния территории, а также динамику изменения этих показателей.

Ключевые слова: экологический мониторинг, дистанционное зондирование земли, визуальное дешифрирование, автоматизированное дешифрирование, классификация, многовременная космосьёмка.

Для цитирования: Иванов А.В., Стриженов А.В., Супрун И.К. Методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования земли. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 102-110. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44492.

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44492](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44492)

Original paper

Methods of decoding of the geoecological conditions of territories of mining complexes based on the data of Earth remote sensing

A.V. Ivanov , A.V. Strizhenok , I.K. Suprun

St. Petersburg Mining University, 2 21st Line, St Petersburg 199106, Russian Federation,
e-mail: www.igor_suprun@mail.ru

Received: 19.09.2019, revised: 27.10.2019, accepted: 07.11.2019

Abstract: Relevance. The steady significant increasing tendency of the volume of extraction and processing of mineral raw materials on our planet is observed in recent decades. Therefore it leads to an increase in the volume of industrial waste, a predominant disposal method of which is the placement on the Earth surface in the form of anthropogenic arrays. Such anthropogenic arrays are especially subjecting to the risk of emergencies, which can entail significant social, environmental and economic damage. Therefore the development and implementation of the environmental monitoring system on the territory affected by industrial waste storages, which can quickly identify sources of anthropogenic load and carry out their timely elimination, is of particular relevance for the society, the economy and the state. **Aim.** To monitor the state of components of the environment based on remote sensing data is one of the most innovative and developing areas of environmental monitoring today. The study object is exploration and analysis of the geoecological conditions of the territories occupied by mining structures. **Methods.** Visual and automated (computer) decryption of space images. Visual decryption refers to the process performed by the operator. In contrast, automated decryption is the software processing of images on a computer using special programs. **Results.** This paper presents the main methods of decoding of the geo-ecological conditions of territories of mining complexes based on the data of earth remote sensing. The most reliable method of geoecological conditions` decryption is working with data from multi-temporal satellite imagery. This method allows determining not only qualitative, but also quantitative indicators of the ecological condition of the territory, as well as the dynamics of changes in these indicators.

Keywords: environmental monitoring, Earth remote sensing, visual decoding, automated decoding, classification, multi-time satellite imagery.

For citation: Ivanov A.V., Strizhenok A.V., Suprun I.K. Methods of decoding of the geoecological conditions of territories of mining complexes based on the data of earth remote sensing. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(4): 102-110. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44492.

Введение

Фонд данных дистанционного зондирования земли сегодня очень обширен, представлен несколькими десятками различных спутниковых с и позволяет получать снимки отдельных территорий в кратчайшие сроки, а главное с фиксированной регулярностью [Данилов и др., 2018]. В этой связи данные космосъемки являются одним из наиболее достоверных источников информации при экологическом картографировании и дешифрировании геоэкологических условий [Бибаева, 2017].

Однако одно только наличие космоснимка не позволяет сделать вывод об экологическом состоянии рассматриваемой территории или установить какие-то количественные показатели. Все полученные материалы космосъемки должны пройти соответствующую камеральную обработку, которая

позволит качественно и количественно оценить изменение геоэкологических условий [Ямашкин, Ладанова, 2019].

Несмотря на глобальную компьютеризацию, на сегодняшний день визуальное дешифрирование считается более надежным, а по мере все более широкого использования снимков со сверхвысоким пространственным разрешением роль визуального дешифрирования возрастает [Seward et al., 2018]. Это объясняется тем, что способности человека анализировать изображение пока существенно превосходят возможности вычислительной техники [Стриженов, Воронова, 2015].

Все разнообразие приемов и способов дешифрирования космоснимков сводится к двум основным методам: визуальному и автоматизированному. Одно из основных преимуществ визуального метода дешифрирования перед автоматизированным заключается в легкости получения пространственной информации [Absalon et al., 2014]. Оператор без труда определяет форму, относительные размеры объектов и особенности их распределения. Другое несомненное преимущество визуального способа – одновременное использование всей совокупности дешифровочных признаков, в особенности косвенных [Wang, Liu, 2016]. Также при помощи компьютера невозможно выполнить процессы логического мышления, которые позволяют человеку извлекать из снимка информацию не только об объектах и их свойствах, но и о процессах и явлениях [Семячков и др., 2018].

К преимуществам компьютерного метода дешифрирования можно отнести возможность преобразования яркостей цифровых снимков для улучшения их восприятия, а также разнообразные математические операции, классификацию по заданным признакам [Sims, Colloff, 2012]. Несомненны преимущества этого метода при обработке многозональных снимков и, особенно, при сопоставлении разновременных съемочных и картографических материалов с целью изучения изменений объектов [Laefter, 2019].

Визуальное дешифрирование основывается на выделении дешифровочных признаков. Дешифровочные признаки принято делить на прямые и косвенные. Прямые дешифровочные признаки – это свойства объекта, находящие непосредственное отображение на снимках. К ним относятся геометрические (форма, тень), яркостные (уровень яркости, цвет, спектральный образ) и структурные (текстура, структура, рисунок) [Дуров, 1998].

Форма – наиболее надежный и не зависящий от условий съемки признак. С изменением масштаба снимков форма объекта на нем может несколько изменяться, за счет исчезновения деталей она упрощается. Форма в плане часто используется при распознавании объектов, связанных с деятельностью человека, поскольку они, как правило, имеют форму, близкую к правильной геометрической [Мочалов и др., 2016].

Тень – дешифровочный признак, позволяющий судить о пространственной форме объектов на одиночном снимке. Различают собственную тень – часть объекта, не освещенную прямым солнечным светом, и падающую – тень от объекта на земной поверхности или поверхности других объектов. Собственная тень позволяет судить о поверхности объектов, имеющих объемную форму: резкая граница тени характерна для угловатых объектов, например крыш домов, а размытая свидетельствует о плавной поверхности, например крон деревьев [Jiang et al., 2019].

Падающая тень в большей степени характеризует вертикальную протяженность, силуэт объекта.

Яркостные дешифровочные признаки связаны со спектральной отражательной способностью, которая фиксируется на снимке в зависимости от вида съемки и типа материала, используемого при дешифрировании [Peng et al., 2016]. Отражательные свойства объектов не постоянны во времени, зависят от высоты Солнца, прозрачности атмосферы, фазы вегетативного развития и других факторов. Изменчивостью спектральной яркости объектов, а также неоднозначностью изобразительных свойств съемочных систем объясняется невысокая надежность яркостных дешифровочных признаков [Волкодаева, Киселёв, 2017]. Яркостные дешифровочные признаки одного и того же объекта на разных снимках могут сильно варьировать, но, несмотря на это, они широко используются при визуальном дешифрировании, а при компьютерном в настоящее время являются основными. Зависимость спектральной яркости основных природных объектов от длины волны представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Зависимость спектральной яркости основных природных объектов от длины волны. /

Fig. 1. Dependence of the spectral brightness of the main natural objects on the wavelength

Структурные признаки являются отражением реально существующих ландшафтных рисунков, горизонтальной ландшафтной дифференциации. На снимке эти признаки представляют собой сочетание изображений объектов и их частей определенной формы, размера и тона (цвета), дополняя его новым свойством – пространственным распределением элементов изображения, их размещением, повторяемостью. Благодаря этим свойствам структурные признаки мало зависят от условий освещения, сезона и технических параметров съемки, несмотря на изменчивость отдельных составляющих изображения, поэтому их принято считать надежными дешифровочными признаками. Относительно мелкие элементы на снимке, у которых распознаются форма и размер, образуют структуру изображения. Типичным примером служат изображения лесных насаждений на аэроснимках и космических снимках сверхвысокого разрешения [Жигульский, Коновалов, 2012].

Несколько разных структур часто формируют довольно устойчивые сочетания, типичные для определенных объектов земной поверхности. Такие сочетания называют рисунком изображения. В рисунке находят отражение как природные особенности территории (структура почвенного и растительного покрова, распределение геоморфологических элементов, литологические особенности слагающих пород, тектонические условия), так и пространственные взаимоотношения объектов антропогенного происхождения. Очень часто рисунок изображения территории определяется ее рельефом и растительностью [Коробова, Ткачева, 2016].

Наличие взаимосвязей и взаимообусловленности всех природных и антропогенных свойств территории служит методологической основой дешифрирования по косвенным признакам. В качестве косвенных обычно выступают прямые дешифровочные признаки других объектов, называемых индикаторами. Интерпретировать изобразившийся на снимке объект можно по его географической приуроченности, местоположению.

Косвенные признаки условно делят на три группы: индикаторы объектов, индикаторы свойств объектов и индикаторы движения или изменений. Так, индикатором административных и государственных границ могут служить различия в нарезке сельскохозяйственных полей, структуре организации территории, состоянии растительного покрова. По косвенным признакам определяют скрытые свойства отчетливо читающихся на снимке объектов. Чаще это относится к объектам хозяйственной деятельности [Корельский и др., 2018].

Автоматизированное (компьютерное) дешифрирование основано на использовании цифровых снимков. Компьютерная обработка материалов дистанционного зондирования включает геометрические и яркостные преобразования и классификацию [Chevrel, Bourguignon, 2016].

Большинство яркостных преобразований направлено на улучшение качества изображения для визуального дешифрирования на экране, но иногда путем преобразований можно получить нужный

окончательный результат. Среди наиболее часто применяемых преобразований – повышение контрастности снимка для его наилучшего отображения, выполняемое путем изменения гистограммы значений яркости; фильтрация, квантование снимка по яркости, синтезирование цветных изображений, слияние (синергизм) снимков с разным пространственным разрешением, создание индексных изображений [Ямашкин, 2015].

Квантование – способ яркостных преобразований одиночного снимка, заключающийся в группировке уровней яркости в несколько относительно крупных ступеней. В результате такого преобразования получают новое изображение, на котором мелкие детали исчезают, постепенное изменение яркости заменяется четкой границей, закономерности распределения яркостей на снимке становятся более отчетливо выраженными. Весь интервал яркостей может быть разделен на равные ступени. Но в большинстве случаев лучшего эффекта можно достигнуть, если границы новых ступеней выбирает дешифровщик, пользуясь при этом гистограммой или измеряя на снимке интервалы яркостей для каждого из интересующих его объектов. Квантование чаще используют в случаях неопределенных границ, постепенных переходов [Chen, 2019].

Яркостные преобразования многозонального снимка преследуют две основные цели: сжать информацию, т.е. получить одно изображение вместо нескольких, или улучшить визуальное восприятие снимка.

Синтез цветного изображения – простой и наиболее широко применяемый вид преобразования, при котором изображению в каждом из съемочных каналов присваивается свой цвет. Наиболее часто для синтеза используются зоны 0,5–0,6; 0,6–0,7 и 0,8–1,1 мкм или аналогичные им, которым присваивают соответственно синий, зеленый и красный цвета. Пример создания снимка с таким синтезом цветов представлен на рисунке 2.

Рис. 2. Создание цветного синтезированного изображения: 1 – панхроматический канал; 2 – цветное синтезированное изображение. /

Fig. 2. Creating a color synthesized image: 1 – panchromatic channel; 2 – color synthesized image

Растительность на изображении имеет красные тона, что объясняется ее высокой яркостью в ближней инфракрасной зоне спектра. Если изменить комбинацию съемочных каналов и цветов и присвоить инфракрасной зоне зеленый цвет, можно получить цветопередачу, близкую натуральной. Синтезировать можно не только зональные снимки, составляющие многозональный, но также разновременные снимки и изображения, полученные в результате более сложных преобразований.

Для улучшения пространственного разрешения цветного изображения выполняется операция, называемая улучшением пространственного разрешения. Это другой вариант создания одного изображения из трех – одного с высоким разрешением (обычно это снимок в панхроматическом канале, но может быть и снимок другой съемочной системы, например радиолокационный), и двух зональных снимков, например в инфракрасном и красном каналах.

Математические операции с матрицами значений яркости пикселей двух цифровых снимков (сложение, умножение и др.) также относятся к простейшим преобразованиям. Наиболее часто вы-

числяется отношение значений яркости двух зональных изображений при работе с многозональными снимками и вычитание – при анализе двух разновременных.

Широко распространено определение индексов, т.е. преобразование изображений, основанных на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Наибольшее количество индексов относится к дешифрированию зеленой, вегетирующей растительности, отделении ее изображения от других объектов, в первую очередь от почвенного покрова и водной поверхности.

Вегетационные индексы основаны на отношениях значений яркости в спектральных зонах, наиболее информативных для характеристики растительности – красной и ближней инфракрасной. Наиболее часто используют нормализованный разностный вегетационный индекс *NDVI* (*Normalised Difference Vegetation Index*), рассчитываемый по формуле [NDVI Index, 2019]:

$$NDVI = (БИК - K) / (БИК + K),$$

где *K* – значение яркости в красной зоне, а *БИК* – в ближней инфракрасной.

Значения индекса изменяются в пределах от -1 до +1. Для растительности характерны положительные значения *NDVI*, и чем больше ее фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияют также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, в меньшей степени экспозиция и угол наклона поверхности. Результат определения вегетационного индекса *NDVI* представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Результат определения вегетационного индекса *NDVI*: 1 – исходное изображение; 2 – изображение индекса *NDVI*. /

Fig. 3. Result of determining the vegetation index *NDVI*: 1 – original image; 2 – *NDVI* index image

Индексные изображения создают на основе и других зональных соотношений. Например, содержание в воде фитопланктона определяют по различиям в синей и зеленой зонах, а концентрацию минеральных частиц (взвесей) – в красной и синей [Ямашкин и др., 2015].

Классификация многозонального снимка предполагает компьютерное, программное распознавание объектов на снимке. Использование многозональных снимков для распознавания объектов основано на особенностях их спектральной отражательной способности, следствием которых являются различия яркостных характеристик на зональных снимках, благодаря чему человек воспринимает различия в цвете. Классификация цифрового снимка заключается в группировке пикселей в соответствии с принятым правилом классификации.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сказать, что в проверенном составе шламов глиноземного производства преобладают оксиды кальция, железа, кремния и алюминия, титана, натрия, магния, калия, марганца и хрома. По гранулометрическому составу можно сделать вывод о преобладании гравелистой и крупнопесчаной фракции.

Дистанционное зондирование Земли достаточно трудоемкий метод и требует не только наличия исходных данных и специализированного программного обеспечения, но и соответствующую квалификацию оператора. Поэтому надежность информации, извлеченной из съемочных материалов, в наибольшей степени зависит от свойств изучаемых объектов и квалификация исполнителя. Достоверность распознавания на снимке природных объектов в решающей степени обусловлена их спектральными свойствами, выраженностью границ, степенью изменчивости, а также наличием устойчивых взаимосвязей с другими объектами.

На основании проведенного обзора можно сделать вывод, что наиболее достоверным методом дешифрирования геоэкологических условий является работа с данными многовременной космосьёмки. Данный метод позволяет определить не только качественные, но и количественные показатели экологического состояния территории, а также динамику изменения этих показателей.

Литература

1. Бибеева А.Ю. Дешифрирование космоснимков для задач мониторинга пирогенной трансформации геосистем. // *Геодезия и картография*. – 2017. – №78(12). – С. 31–38.
2. Волкодаева М.В., Киселев А.В. Разработка системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха. // *Записки Горного института*. – 2017. – №227. – С. 589–596.
3. Данилов А.С., Пашкевич М.А., Петрова Т.А. Интегрированная система экологического мониторинга при освоении крупного угольного разреза. // *Инновационное развитие минерально-сырьевого комплекса: проблемы и перспективы*. 11-я конференция Российско-Немецкого сырьевого форума. – 2018. – С. 189–194.
4. Дуров В.В. Охрана атмосферного воздуха в цементной промышленности. // *Цемент и его применение*. – 1998. – №6. – С. 2–4.
5. Жигульский В.П., Коновалов В.Е. Особенности дешифрирования аэрофотоснимков и космоснимков с целью выявления технических и технологических объектов горнопромышленного комплекса. *Известия высших учебных заведений. // Горный журнал*. – 2012. – №5. – С. 49–52.
6. Корельский Д.С., Стриженов А.В., Имашова С.Н. Экологический мониторинг и оценка состояния природно-территориальных комплексов, подвергающихся воздействию цементной промышленности. // *Московский экономический журнал*. – 2018. – №5(1). – С. 116–123.
7. Коробова О.С., Ткачева А.С. Экологические аспекты цементного производства. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2016. – №7. С. 42–47.
8. Мочалов В.Ф., Марков А.В., Григорьева О.В., Жуков Д.В., Бровкина О.В., Пиманов И.Ю. Дистанционное зондирование для мониторинга окружающей среды. // *Комплексное моделирование в области интеллектуальных систем и вычислений*. – 2016. – №466. – С. 497–506.
9. Семячков А.И., Слаковская Ю.О., Почечун В.А. Методологические особенности оценки экономического ущерба от неблагоприятных экологических последствий в условиях территорий с развитым горнопромышленным комплексом. // *Экология и промышленность России*. – 2018. – №22(4). – С. 46–51.
10. Стриженов А.В., Воронова Д.С. Мониторинг и оценка воздействия цементного производства на окружающую среду. // *Материалы I Ежегодной международной научной конференции «Фундаментальная и прикладная наука: основные итоги 2015 г.»*. – СПб.: CreateSpace, 2015. – С. 58–60.
11. Ямашкин С. А. Гибридная система для анализа данных дистанционного зондирования Земли. // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2015. – №4. – С. 173–175.
12. Ямашкин С.А., Ладанова Е.О. Разработка эффективного метода классификации и картографирования геоэкологических процессов с использованием спутниковых снимков. // *Постулат*. – 2019. – №2(40). – С. 27.
13. Ямашкин А.А., Новикова Л.А., Ямашкин С.А., Яковлев Е.Ю., Уханова О.М. Ландшафтно-экологическое планирование системы охраняемых территорий Пензенской области. // *Вестник Удмуртского университета*. – 2015. – №25(1). – С. 24–35.
14. Absalon D., Lesak B. Preface of the “Symposium on GIS, statistics and remote sensing for environmental monitoring”. // *AIP Conference Proceedings*. – 2014. – V. 1618. – Pp. 273–274.
15. Chen P. Visualization of real-time monitoring datagraphic of urban environmental quality. // *Eurasip Journal on Image and Video Processing*. – 2019. – No. 1. – P. 42.

16. Chevrel S., Bourguignon A. Application of Optical Remote Sensing for Monitoring Environmental Impacts Of Mining: From Exploitation to Postmining Land Surface Remote Sensing. // *Environment and Risks*. – 2016. – No. 12. – Pp. 191–220.
17. Jiang C.-L., Wu L., Liu D., Wang S.-M. Dynamic monitoring of eco-environmental quality in arid desert area by remote sensing: Taking the Gurbantunggut Desert China as an example. // *Chinese Journal of Applied Ecology*. – 2019. – No. 30 (3). – Pp. 877–883.
18. Laefer D.F. Harnessing Remote Sensing for Civil Engineering: Then, Now, and Tomorrow. // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2019. – No. 33. – Pp. 3–30.
19. NDVI Index [Electronic Resource]. <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (11/05/2019).
20. Peng Y., He G.J., Zhang Z.M., Jiang W., Ouyang Z.Y., Wang G.Z. Eco-environmental dynamic monitoring and assessment of rare earth mining area in Southern Ganzhou using remote sensing. *Shengtai Xuebao*. // *Acta Ecologica Sinica*. – 2016. – No. 36(6). – Pp. 1676–1685.
21. Seto K.C. Monitoring urban growth and its environmental impacts using remote sensing: Examples from China and India. // *Global Urbanization*. – 2011. – Pp. 151–166.
22. Seward A., Ashraf S., Reeves R., Bromley C. Improved environmental monitoring of surface geothermal features through comparisons of thermal infrared, satellite remote sensing and terrestrial calorimetry. // *Geothermics*. – 2018. – No. 73. – Pp. 60–73.
23. Sims N.C., Colloff M.J. Remote sensing of vegetation responses to flooding of a semi-arid floodplain: Implications for monitoring ecological effects of environmental flows. // *Ecological Indicators*. – 2012. – No. 18. – Pp. 387–391.
24. Wang Q., Liu S. Research and implementation of national environmental remote sensing monitoring system. *Yaogan Xuebao*. // *Journal of Remote Sensing*. – 2016. – No. 20(5). – Pp. 1161–1169.

References

1. Bibaeva A.Yu. Decoding satellite images for monitoring the pyrogenic transformation of geosystems. *Geodesy and cartography*. 2017. No. 78 (12). pp. 31–38. (In Russ.)
2. Volkodaeva M.V., Kiselev A.V. On the development of the system for environmental monitoring of atmospheric air quality. *Journal of Mining Institute*, 227. 2017. pp. 589–596. (In Russ.)
3. Danilov A.S., Pashkevich M.A., Petrova T.A. Environmental integrated monitoring system at reclamation of large open-cast coal mine. *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects - 11th conference of the Russian-German Raw Materials*. 2018. pp 189-194. (In Russ.)
4. Durov V.V. Air protection in the cement industry. *Cement and its application*. 1998. No. 6. pp. 2–4. (In Russ.)
5. Zhigulsky V.P., Konovalov V.E. Features of decryption of aerial photographs and satellite imagery in order to identify technical and technological objects of the mining complex. *News of higher educational institutions. Mountain Journal*. 2012. No. 5. pp. 49-52. (In Russ.)
6. Korelsky D.S., Strizhenok A.V., Imashova S.N. Environmental monitoring and assessment of the condition of natural-territorial complexes exposed to the cement industry. *Moscow Economic Journal*. 2018. No. 5 (1). pp. 116–123. (In Russ.)
7. Korobova O.S., Tkacheva A.S. Environmental aspects of cement production. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2016. No. 7. pp. 42–47. (In Russ.)
8. Mochalov V.F., Markov A.V., Grigorieva O.V., Zhukov D.V., Brovkina O.V., Pimanov I.Y. Remote sensing for environmental monitoring. Complex modeling. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 466. 2016. Pp.497-506. (In Russ.)
9. Semyachkov A.I., Slawikowskaja Y.O., Pochechun V.A. Methodological features of the assessment of economic damage from adverse environmental consequences in conditions of territories with a developed mining complex. *Ecology and Industry of Russia*, 22(4). 2018. pp. 46-51. (In Russ.)
10. Strizhenok A.V., Voronova D.S. Monitoring and assessment of the impact of cement production on the environment. *Materials of the I Annual international scientific conference “Fundamental and applied science: the main results of 2015”*. St. Petersburg: CreateSpace, 2015. pp. 58–60. (In Russ.)
11. Yamashkin S.A. A hybrid system for analyzing data from remote sensing of the Earth. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*, 4. 2015. pp. 173-175. (In Russ.)

12. Yamashkin S.A., Ladanova E.O. Development of an effective method of classification and mapping of geocological processes using satellite images. *Postulate*, 2 (40). 2019. 27 p. (In Russ.)
13. Yamashkin A.A., Novikova L.A., Yamashkin S.A., Yakovlev E.Yu., Ukhanova O.M. Landscape-ecological planning of the system of protected areas of the Penza region. *Bulletin of the Udmurt University*, 25 (1). 2015. pp. 24-35. (In Russ.)
14. Absalon D., Lesak B. Preface of the "Symposium on GIS, statistics and remote sensing for environmental monitoring". *AIP Conference Proceedings*, 1618. 2014. pp. 273-274.
15. Chen P. Visualization of real-time monitoring datagraphic of urban environmental quality. *Eurasip Journal on Image and Video Processing*. 2019(1). 42 p.
16. Chevrel S., Bourguignon A. Application of Optical Remote Sensing for Monitoring Environmental Impacts Of Mining: From Exploitation to Postmining Land Surface Remote Sensing. *Environment and Risks*, 12. 2016. pp. 191-220.
17. Jiang C.-L., Wu L., Liu D., Wang S.-M. Dynamic monitoring of eco-environmental quality in arid desert area by remote sensing: Taking the Gurbantunggut Desert China as an example. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 30 (3). 2019. pp. 877-883.
18. Laefer D.F. Harnessing Remote Sensing for Civil Engineering: Then, Now, and Tomorrow. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 33. 2019. pp. 3-30.
19. NDVI Index [Electronic Resource]. <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (11/05/2019).
20. Peng Y., He G.J., Zhang Z.M., Jiang W., Ouyang Z.Y., Wang G.Z. Eco-environmental dynamic monitoring and assessment of rare earth mining area in Southern Ganzhou using remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 36 (6). 2016. pp. 1676-1685.
21. Seto K.C. Monitoring urban growth and its environmental impacts using remote sensing: Examples from China and India. *Global Urbanization*. 2011. pp.151-166.
22. Seward A., Ashraf S., Reeves R., Bromley C. Improved environmental monitoring of surface geothermal features through comparisons of thermal infrared, satellite remote sensing and terrestrial calorimetry. *Geothermics*, 73. 2018. pp. 60-73.
23. Sims N.C., Colloff M.J. Remote sensing of vegetation responses to flooding of a semi-arid floodplain: Implications for monitoring ecological effects of environmental flows. *Ecological Indicators*, 18. 2012. pp. 387-391.
24. Wang Q., Liu S. Research and implementation of national environmental remote sensing monitoring system. *Journal of Remote Sensing*, 20 (5). 2016. pp. 1161-1169.