

УДК 504.54

**Озарян Юлия Александровна**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
сектора горной информатики,  
Институт горного дела ДВО РАН,  
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51  
e-mail: [ozaryanigd@gmail.com](mailto:ozaryanigd@gmail.com)

**Усиков Виталий Игнатьевич**

кандидат экономических наук,  
старший научный сотрудник  
сектора горной информатики,  
Институт горного дела ДВО РАН  
e-mail: [v-i-usikov@yandex.ru](mailto:v-i-usikov@yandex.ru)

**К ВОПРОСУ  
ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО  
ЗОНИРОВАНИЯ  
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ***Аннотация:*

В статье рассмотрены современные возможности оценки и прогноза техногенного воздействия с использованием геоинформационных систем, которые позволяют дистанционно эффективно идентифицировать источники распространения загрязнения, а также определить их качественные и количественные характеристики. Авторами произведен анализ накопленных многолетних данных по оценке геохимических потоков рассеивания территории горно-промышленного освоения. Выявлены наиболее экологически напряженные участки района исследования и произведена их интеграция с картографической основой. На основе объемной модели объекта исследования изучены процессы миграции геохимических потоков воздушным путем относительно рельефа территории.

*Ключевые слова:* ландшафт, зонирование, дистанционное зондирование земли, NDVI, поллютант, геохимический поток

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.156

**Ozaryan Yuliya A.**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
of the Mining Informatics Sector,  
Institute of Mining, FEB RAS,  
6800006 Khabarovsk, 51, Turgeneva Str.  
e-mail: [ozaryanigd@gmail.com](mailto:ozaryanigd@gmail.com)

**Usikov Vitaly I.**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
of the Mining Informatics Sector,  
Institute of Mining, FEB RAS  
e-mail: [v-i-usikov@yandex.ru](mailto:v-i-usikov@yandex.ru)

**REVISITING LANDSCAPE-GEOCHEMICAL  
ZONING OF NATURAL  
AND TECHNICAL SYSTEMS***Abstract:*

The paper describes the modern possibilities of estimation and prediction of technogenic impact using geoinformation systems, which allow to remotely and effectively identify the sources for the spread of pollution, and to determine their qualitative and quantitative characteristics. The authors have analyzed the accumulated long-term data on the estimation of geochemical fluxes of dispersion of the mining territory. The paper reveals the most ecologically stressed areas of the research area and performs their integration with the cartographic basis. On the basis of the volume model of the object of study the authors have studied the processes of migration of geochemical fluxes by air relative to the territory landscape.

*Key words:* landscape, zoning, remote sensing of the Earth, NDVI, pollutant, geochemical flux

*Введение*

Природно-техническая система представляет комплекс сложных пространственно-временных динамических компонентов естественного и антропогенного происхождения. Изменение их качества оказывает существенное влияние на биосферу, а в некоторых случаях и на геотехнологический цикл. Освоение рудных месторождений сопровождается нарушением естественного геохимического фона и порождает формирование новых минеральных комплексов, нехарактерных для объекта добычи. Результатом горнопромышленной деятельности является образование техногенных источников (отвалы, отстойники, шламохранилища, объекты промышленной инфраструктуры). Локальные воздействия на отдельные природные объекты могут привести к возникновению кумулятивного эффекта для естественной среды обитания в регионе, что определяет необходимость ландшафтной перспективы в оценке воздействия. Таким образом, анализ

результатов многочисленных исследований качества компонентов природно-технических систем и их интерпретация с помощью геоинформационных технологий является основой эколого-ландшафтного подхода. Развитие этого направления стимулировано эколого-экономическими причинами и активно применяется в Европе, Северной Америке, России и других странах. Концепция заключается в общем подходе к предмету исследования, который охватывает природный ландшафт, человека и результаты антропогенного изменения, рассматриваемые в структурном и функциональном аспектах [1].

Объект исследований – компоненты техногенно измененного ландшафта, расположенные в горнопромышленных районах Дальневосточного региона.

Предмет исследований – ландшафтно-геоэкологическая и ландшафтно-геохимическая зональность территории горнопромышленного освоения.

Цель исследований – развитие методов мониторинга и прогноза техногенного воздействия горного производства на окружающую среду в геопространстве.

#### *Теория, материалы и методы исследования*

Методологическая основа работы: основные положения учения В.И. Вернадского "Биосфера и ноосфера" [2] в разрезе горных наук, стратегическое ландшафтоведение и ландшафтный подход с применением ландшафтной индикации и мониторинга геосистем; полевые исследования; методы дистанционного зондирования Земли.

В качестве программной основы использовалось специальное программное обеспечение, в том числе открытая геоинформационная система QGIS, GRASS, SAGA, Microdem. Информационную базу исследования составили разновременные космические снимки, полученные системами MODIS и ASTER (спутник Terra), TM и ETM+ (LANDSAT 5, 7, 8) различного пространственного разрешения, цифровые модели рельефа: GTOPO30, SRTM30, SRTM3, топографические карты масштаба 1:10000–1:100000, картосхемы.

Все результаты сводятся в базу данных, разработанную средствами СУБД PostgreSQL/Postgis для расчета комплексного показателя загрязнения [3].

Расчет вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) проведен с помощью программы QGIS и инструмента научного анализа данных спутниковых наблюдений «Vega-Science» [4].

Этот показатель вычисляется по формуле

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

Исследование геохимического состава почвогрунтов и растительности проводилось путем отбора проб и их анализа методами атомно-адсорбционной спектроскопии и рентгено-флуоресцентного анализа.

Уровень химического загрязнения почв оценивался по результатам расчета коэффициента концентрации химического вещества ( $K_{ci}$ ) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ), который характеризует эффект воздействия ассоциации химических элементов при полиэлементном загрязнении.

Для оценки пространственно-временного распределения поллютантов проведен анализ данных с помощью модуля «Интерполяция» QGIS методом обратного взвешивания расстояний (IDW).

Визуализация цифровых моделей рельефа (ЦМР, DEM) осуществлялась в Microdem [5]. Из матриц вырезались подгруппы (матрицы меньшего размера), они «драпировались» растровыми изображениями других типов, например, фрагментами спутниковых снимков, NDVI, топокарт в распространенных графических форматах, путем привязки углов к географическим (прямоугольным) координатам и выводились в графические файлы. Эта задача выполнялась в приложениях 3Dem или LandSerf.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки качества окружающей среды природно-технической системы опробован эколого-ландшафтный подход на примере Комсомольского оловорудного района, в котором месторождения разрабатывались Солнечным горно-обогатительным комбинатом комбинированным способом добычи. Два самых крупных месторождения, Фестивальное и Перевальное (суммарные запасы более 80 % от общих), расположены в Нижнеамурской области Тихоокеанского ландшафтного пояса России [2]. В связи с тем что основные мощности предприятия на данный момент не эксплуатируются, источниками загрязнения являются три хвостохранилища общей площадью 136,7 га; породные отвалы – 16,2 га; карьер Солнечной обогатительной фабрики – 36,7 га; отстойники – 13,6 га. Для оценки геологических и геохимических факторов проведен анализ данных опробования почвогрунтов исследуемого района и их интерпретация на объемную модель рельефа местности. Методом интерполяции точечных данных обработаны результаты химического анализа за период 1983 – 2015 гг. Промежуточные значения рассчитывались методом обратного взвешивания расстояний (IDW). На рис. 1 показано распределение Pb, Cu, Zn, Mn для почвенного горизонта на глубине 0 – 10 см.

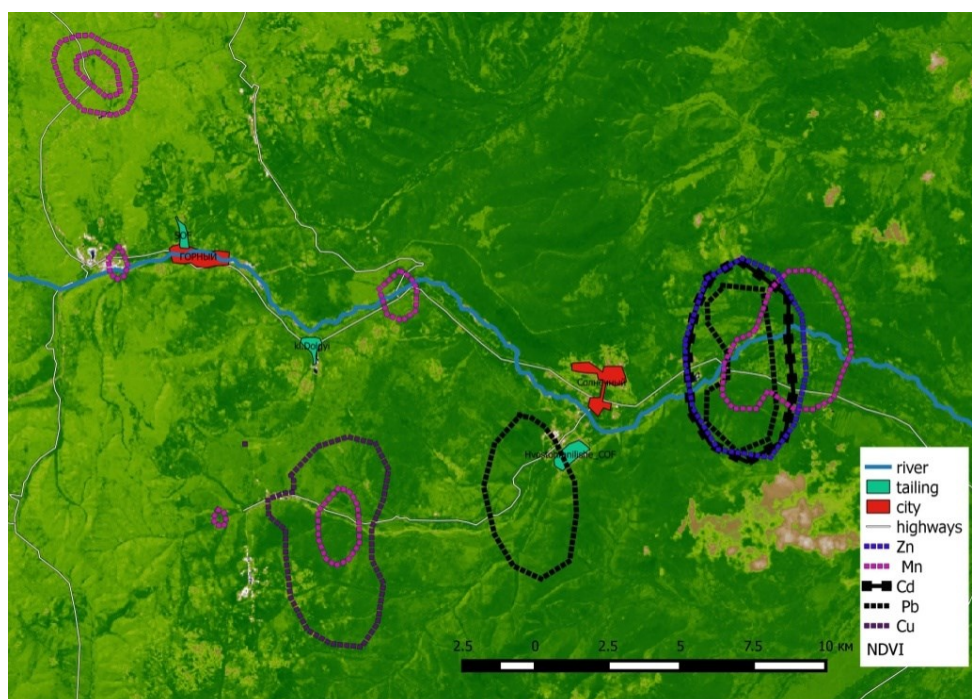


Рис. 1 – Распределение элементов в почвогрунтах Комсомольского горнопромышленного района

В точке, расположенной у автомобильной трассы Солнечный – Комсомольск-на-Амуре по трем элементам (Cd, Mn, Pb) зафиксированы значительные превышения средних по району показателей, которые характерны для загрязнения окружающей среды автотранспортом.

Остальные аномалии оказались пространственно тяготеющими к промышленным и геологическим объектам района. Концентрация меди возле месторождения Фестивального колеблется от 821,22 – 1588,23 мг/кг. По нашему мнению, это обусловлено расположением двух отстойников, от которых распространяется загрязнение. Установлены похожие тенденции пространственной локализации Zn и Cu и на других площадях.

Анализ влияния естественных и антропогенных факторов в пределах территории Комсомольского рудного района показал, что основные зоны критической экологической ситуации локализованы именно в месте расположения объектов бывшего Солнечного ГОКа.

Учитывая то, что предприятие не эксплуатируется более 10 лет, за техногенные факторы риска принимаем накопленные отходы производства, а именно три хвостохранилища, породные отвалы, отстойники. Указанные объекты являются источником распространения загрязнителей на прилегающие территории. Механизмы их пространственно-временного распространения определяются природно-климатическими и геологическими факторами.

В результате анализа процессов восстановления растительности установлено, что наибольшие значения вегетационного индекса соответствуют точкам, расположенным западнее рудника Молодежный и восточнее хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа (рис. 2).

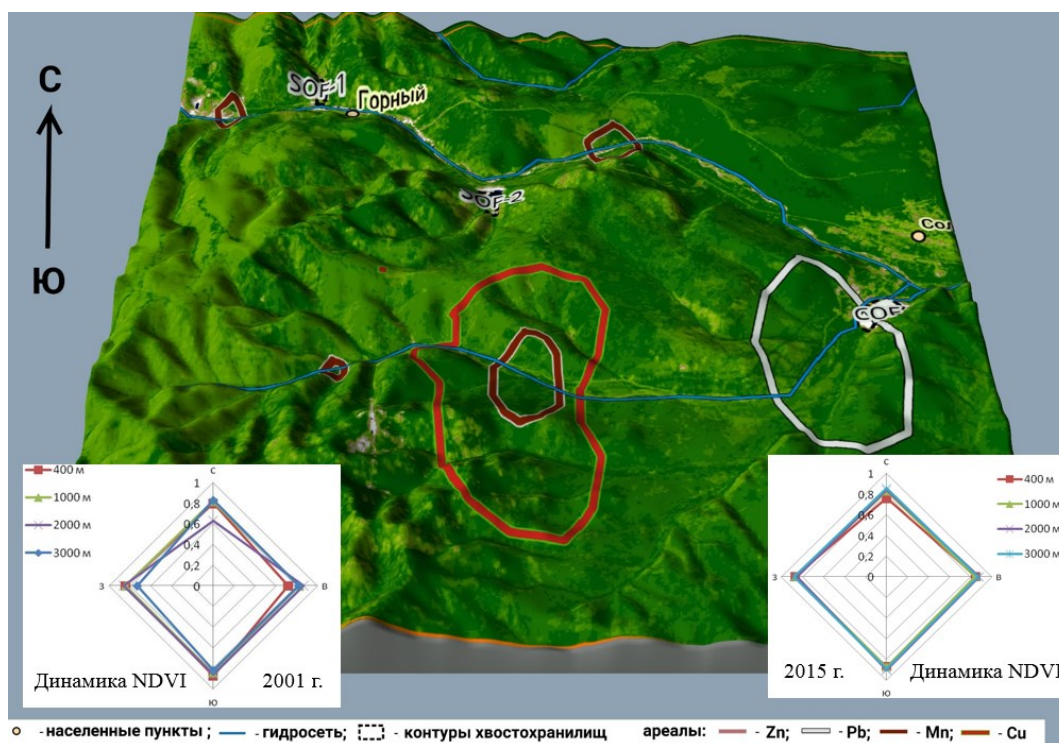


Рис. 2 – Совмещение цифровой модели рельефа и карты вегетационного индекса растительности

В период с 2001 по 2003 г. выявлен незначительный рост индекса на 0,01 – 0,09 практически во всех точках. В 2004 г. отмечается резкое снижение значений как в отдельных точках, так и по району в целом. Следующие 4 года характеризуются стабильным плавным ростом показателя, значение которого снизилось в 2009 г. [6]. С 2011 до 2014 г. выявлен спад показателя до значения 0,72. Это связано с острой паводковой ситуацией, сложившейся в районе п. Горный в 2011 г., последствием которой явился прорыв дамбы хвостохранилища, сопровождавшийся выносом отходов горного производства в реку Силинка.

По результатам анализа состояния растительности установлено, что по всему профилю значение индекса составляет 0,65 и выше, это характеризует растительность здесь как густую. Таким образом, сохраняется тенденция роста значений нормализованного индекса, что свидетельствует об улучшении общего состояния растительности. Важен тот факт, что территория близко расположена к густым хвойным естественным лесам, которые влияют на интенсификацию сукцессионных процессов.

Для детализации обстановки вблизи техногенных источников создана наблюдательная сеть опробования вокруг ЦОФ Солнечного ГОКа. Кроме загрязнения гидросети загрязнителями, содержащимися в дренажных водах хвостохранилища, мощным источ-

ником загрязнения прилегающих участков является ветровой перенос загрязняющих веществ с поверхности осушенного хвостохранилища на прилегающие территории, в том числе и п. Солнечный.

Месторождения района расположены в разных высотно-ландшафтных зонах, имеющих различные гидрологический и ветровой режимы. По многозональному спутниковому снимку Landsat-8 выделены площади химического загрязнения (рис. 3).

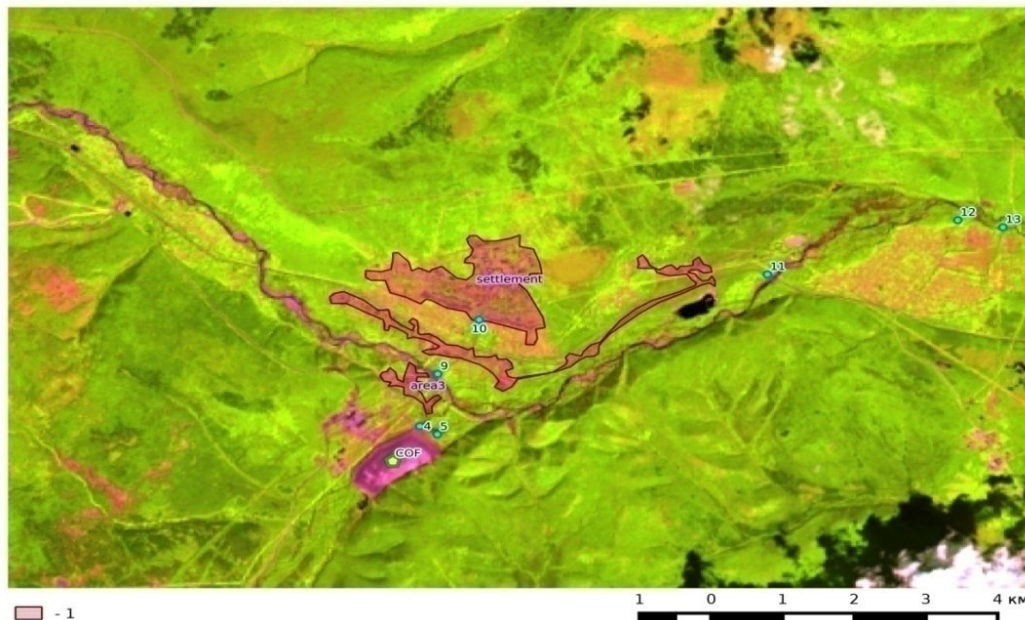


Рис. 3 – Карта-схема переноса пылевых частиц с поверхности хвостохранилища Солнечного ГОКа и отложения их на земной поверхности

Воздушные потоки, формируемые долиной реки Левая Силинка, распространяются вдоль ее борта, на котором расположен поселок, и поэтому пылевые осадки на нем не задерживаются. Потоки воздуха северо-восточного направления из долины рек Холдоми и Правой Силинки сначала поднимают токсичную пыль с хвостохранилища, далее на их пути встречается склон, где происходит разгрузка твердых частиц на жилые кварталы. Очевидно, что в Солнечном горнопромышленном районе при планировании промышленной инфраструктуры не учтены ландшафтные особенности территории, что привело к проникновению отходов горного производства в речную сеть и населенный пункт. Отсюда следует, что построение пространственных моделей горнорудных районов на основе карт ландшафта с учетом взаиморасположения промышленных (потенциальных источников загрязнения) и жилых объектов целесообразно на стадии проектирования горнодобывающих предприятий

На основе полученных данных будут выделены зоны геохимического воздействия на компоненты ландшафта с учетом природных и техногенных источников образования загрязняющих веществ.

### Выводы

Освоение месторождений минерального сырья оказывает существенное влияние на все компоненты ландшафта. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что геохимические аномалии района исследований пространственно взаимосвязаны с объектами промышленной инфраструктуры и уверенно дешефрируются по космическим снимкам. Заверка данных дистанционного мониторинга полевыми исследованиями позволила подтвердить расположение наиболее экологически напряженных зон. Установлены потенциальные возможности естественного восстановления растительности нарушенных территорий.

## Литература

1. Старожилов В.Т. Концепция полимасштабной векторно-слоевой индикации геосистем ландшафтной сферы // Фундаментальные и прикладные исследования науки XXI века. Шаг в будущее: Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 44 - 48.
2. Казначеев В.П. Учение В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере / В.П. Казначеев. - 2-е изд. - М.: Книжный дом «Либроком», 2010. - 248 с.
3. Свидетельство о регистрации базы данных 2019620201. Рос. Федерация. Картографическая база данных MI-FE GIS / В.И. Усиков, Л.Н. Липина, М.Б. Бубнова, Ю.А. Озарян ; правообладатель ФГБУН ИГД ДВО РАН. Заявл17.01.2019; зарегистр. 31 января 2019. 1с.
4. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга / Е.А. Лупян и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2014. - Т. 11.- №. 3.- С. 215 -232.
5. Усиков В.И. 3D – модели рельефа и строение верхней части земной коры Приамурья / В.И. Усиков // Тихоокеанская геология. – 2011. – № 6. – С. 14 - 33.
6. Озарян Ю.А. Комплексная оценка состояния техногенной пустоши Комсомольского горнопромышленного района с использованием спутникового сервиса "Вега" / Ю.А. Озарян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2016. - Т. 13, № 1. - С. 70 – 78.