

Н.И. Грехнев, Л.Н. Липина, В.И. Усиков

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Производственная деятельность горно-металлургических предприятий цветной металлургии связана с экстремальными негативными воздействиями на окружающую среду. Техногенный риск, связанный с этой деятельностью, действуя совместно с природным, не зависящим от человека, могут порождать цепные реакции, имеющие серьезные последствия различного масштаба. Оценка экологического риска – это последовательное, системное рассмотрение всех аспектов воздействия анализируемых факторов на почвенно-растительный комплекс, водные объекты, приземную атмосферу и здоровье человека, т.е. в широком смысле на экологическое состояние окружающей среды. Одним из наиболее характерных негативных последствий антропогенного воздействия представляется загрязнение почв. Показателями уровня загрязненности почв являются коэффициент концентрации химического вещества (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) при полиэлементном загрязнении. Дистанционное зондирование земли позволяет выявить территории, трансформированные горным производством и техногенезом, а также отследить изменение природной среды во времени. Состояние растительности отражает качество почв, в том числе и степень их загрязнения. Наиболее распространенной его оценкой является нормализованный относительный вегетационный индекс растительности (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы. Примеры его использования описаны в статье.

Ключевые слова: экологический риск; дистанционное зондирование Земли; суммарный показатель загрязнения; вегетационный индекс растительности; NDVI.

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезмерными ситуациями природного и техногенного характера, их последствий [1].

Техногенный риск, связанный с деятельностью горнопромышленных предприятий и природный, не зависящий от человека, вместе могут находиться и порождать цепные реакции, результатом которых может привести к бедствиям не только регионального, но и национального масштаба. Оценка экологического риска – это последовательное, системное рассмотрение всех

аспектов воздействия анализируемых факторов на почвенно-растительный комплекс, водные объекты, приземную атмосферу и здоровье человека, т.е. в широком смысле на экологическое состояние окружающей среды. Однако изучению проблемы экологического риска в минерально-сырьевом комплексе до сих пор уделялось недостаточно внимания, поэтому остается множество нерешенных задач и проблем, связанных с его оценкой.

Производственная деятельность горно-металлургических предприятий цветной металлургии связана с экстремальными негативными воздействиями на окружающую среду (ОС). В результате формируются техногенные массивы,

которые вызывают многочисленные ландшафтные преобразования. В своем естественном состоянии и развитии ландшафт представляет собой сложную, генетически единую, саморегулирующуюся систему с однотипным рельефом, геологическим строением, климатом, общим характером распространения поверхностных и грунтовых вод, закономерным сочетанием почв, растительных и животных сообществ. При изменении режима поведения хотя бы одного из компонентов естественного ландшафта его экологическое равновесие нарушается, что может вызвать цепь необратимых последствий.

Одним из наиболее характерных негативных последствий антропогенного воздействия представляется загрязнение почв. Почвы являются основным объектом окружающей среды, депонирующим различные виды загрязнения в том числе тяжелые металлы (ТМ) и другие химические загрязняющие вещества, предупреждая тем самым их поступление в природные воды и очищая от них атмосферный воздух. Уровень химического загрязнения почв характеризует степень неблагоприятного воздействия экзогенных химических веществ на здоровье населения. Показателями уровня загрязненности почв являются коэффициент концентрации химического вещества (K_{c_i}) и суммарный показатель загрязнения (Z_c), который характеризует эффект воздействия ассоциации химических элементов при полиэлементном загрязнении.

Коэффициент концентрации, K_{c_i} , и суммарный показатель загрязнения, Z_c , рассчитываются по формулам:

$$K_{c_i} = \frac{C_i}{C_{\text{фон}}} \quad (1)$$

где C_i – концентрация металла, i – элемента в пробах почвы, мг/к

Суммарный показатель загрязнения (Z_c):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{c_i} - (n - 1) \quad (2)$$

По суммарной величине Z_c определяется категория загрязнения почв: Допустимая – величина менее 16; умеренно опасная – величина от 16 до 32; опасная – величина от 32 до 128; чрезвычайно опасная – величина от 128 и более [2].

В горнорудных районах увеличение содержания тяжелых металлов в почве ведет к возрастанию их концентрации в растениях. Накопление тяжелых металлов растениями, произрастающими на загрязненных почвах, в значительной степени зависит от уровня их загрязнения. В результате в зоне влияния горнопромышленных комбинатов нарушается нормальный цикл развития растительности.

Современные средства мониторинга (при помощи дистанционного зондирования земли (ДЗ) позволяют достаточно точно оценить по площади территории, трансформированные горным производством и техногенезом, а также изменение природной среды во времени. Дистанционные наблюдения основаны на свойствах конкретных природных и искусственных объектов отражать солнечную коротковолновую или излучать собственную длинноволновую радиацию. Тем самым показывая динамику процессов [3].

Как известно, состояние растительности и объем биомассы определяется качеством почв, поэтому сопоставимость измерения вегетационного индекса с показателями уровня загрязнения почв в зоне горнопромышленного освоения является показателем оценки экологических рисков. Вегетационный индекс характеризует объем биомассы, приходящийся на единицу площади поверхности земли и является безразмерной величиной. Значения индекса возрастают с развитием зеленой биомассы и уменьшаются с ее

усыханием, что является показателем состояния здоровой растительности.

Исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв была использована методология построения разностных карт вегетационного индекса используемого для количественной оценки растительного покрова.

Наиболее распространенный вегетационный (Normalized Difference Vegetation Index – *NDVI*) – нормализованный относительный индекс растительности, это простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы.

Расчет *NDVI* проводился по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (3)$$

где *NIR* – ближняя ИК спектральный канал, *RED* – красный спектральный канал [4]. Обработка данных осуществ-

лялась приложением QGIS. Результат вычисления с помощью калькулятора растров – индексное изображение. Величина индекса может колебаться от –1,0 до 1,0. Он умеренно чувствителен к изменениям почвенного и атмосферного фона, кроме случаев с разреженной растительностью. Известно, что для зеленой растительности, отражения в красной области спектра всегда меньше чем в ближней инфракрасной за счет поглощения света хлорофиллом. Поэтому значение *NDVI* для растительности не могут быть меньше нуля. Чем больше фитомасса, тем он выше и обычно колеблется от 0,2 до 0,8 [5, 6]. Более высокая величина индекса связана с более высоким уровнем здорового растительного покрова. В красной области спектра происходит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений, а в ближней инфракрасной – область максимального отражения клеточных структур листа. Чем активнее вегета-

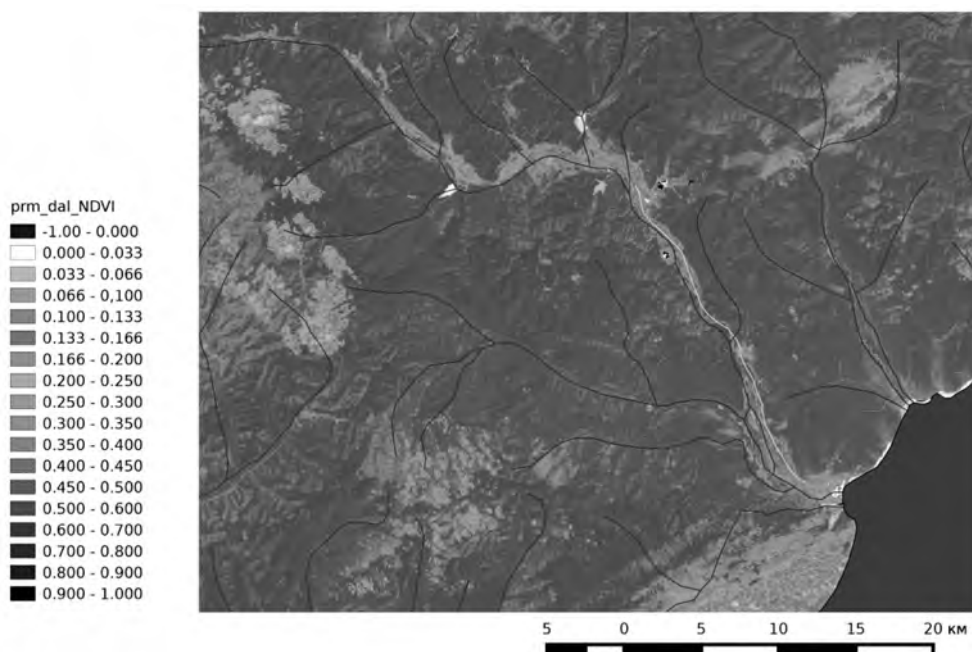


Рис. 1. Визуализация индексного изображения *NDVI*

ция, тем больше будет поглощать хролофилл, и больше отражать клеточная структура. Результат индексного изображения на тестовом Дальнегорском объекте показан на рис. 1.

Используя суммарный показатель загрязнения почв можно получить сравнительную характеристику загрязнения почв тяжелыми металлами горнопромышленного района (табл. 1, 2), уровень его загрязнения. Объективным показателем состояния нарушенности территории горнопромышленного освоения является состояние почвенного покрова, а критерием – состояние растительности.

Для получения подтверждения зависимости, рассчитаны и вынесены на отдельные векторные слои информация по суммарному загрязнению почв по Дальнегорскому и Нижнеамурскому горнопромышленному району, классификация проведена согласно [2]. В гео-

привязанных точках с определенным уровнем загрязнения почв были определены индексы *NDVI* в сопряжении с наземными наблюдениями. По индексам *NDVI* проведена классификация состояния растительности:

0,18–0,29 – открытые почвы, очень низкая степень развития растительности сильно угнетенное состояние;

0,30–0,37 – низкая степень развития растительности, угнетенное состояние;

0,38–0,48 – средняя степень развития растительности, удовлетворительное состояние;

0,49–0,8 – высокая степень развития растительности, состояние хорошее.

Исключены из обработки площади, на которых угнетенная растительность определяется природными фактами: на высоких гипометрических отметках, естественных каменистых осыпях. Выделены области действия загрязнения,

Таблица 1

Классификация значений суммарного загрязнения почв *Zc* и *NDVI* в определяемых точках отбора по Дальнегорскому горнопромышленному району

№ точек отбора	Чрезвычайно опасная		№ точек отбора	Опасная		№ точек отбора	Умеренно опасная		№ точек отбора	Допустимая		Хорошее состояние
	<i>Zc</i>	<i>NDVI</i>		<i>Zc</i>	<i>NDVI</i>		<i>Zc</i>	<i>NDVI</i>		<i>Zc</i>	<i>NDVI</i>	
1	1051	0,22	4	95	0,32	6	17	0,24	32	1	0,52	
2	2457	0,18	10	102	0,37	16	29	0,35	33	0	0,5	
3	188	0,29	23	44	0,33	18	23	0,3	11	0	0,57	
5	208	0,24	27	58	0,27	20	16	0,38	12	7	0,49	
21	132	0,24	36	40	0,3	24	20	0,48	13	0	0,54	
22	1287	0,2	37	36	0,34	9	16	0,35	14	0	0,49	
			38	38	0,37	29	17	0,33	15	0	0,51	
			39	53	0,35	31	17	0,3	17	11	0,45	
			42	74	0,32				25	11	0,45	
									28	11	0,49	
									33	0	0,5	
									34	0	0,49	

Таблица 2

Классификация значений суммарного загрязнения почв Zc и NDVI в определяемых точках отбора по Нижнеамурскому горнопромышленному району

№ точек отбора	Чрезвычайно опасная	Сильно угнетенное состояние	№ точек отбора	Опасная	Угнетенное состояние	№ точек отбора	Умеренно-опасная	Удовлетворительное	№ точек отбора	Допустимая	Хорошее состояние
	Zc	NDVI		Zc	NDVI		Zc	NDVI		Zc	NDVI
1	135	0,29	10	43	0,34				12	3	0,49
4	193	0,11	13	77	0,34						
8	169	0,18									
14	155	0,29									
18	187	0,16									
21	190	0,14									
22	1197	0,08									

окруженные ареалом нормального развития растительности. В их пределах производилось сопоставление Zc и NDVI.

Результаты сведены в таблицы по Дальнегорскому (табл. 1), Нижнеамурскому (табл. 2) горнопромышленным районам.

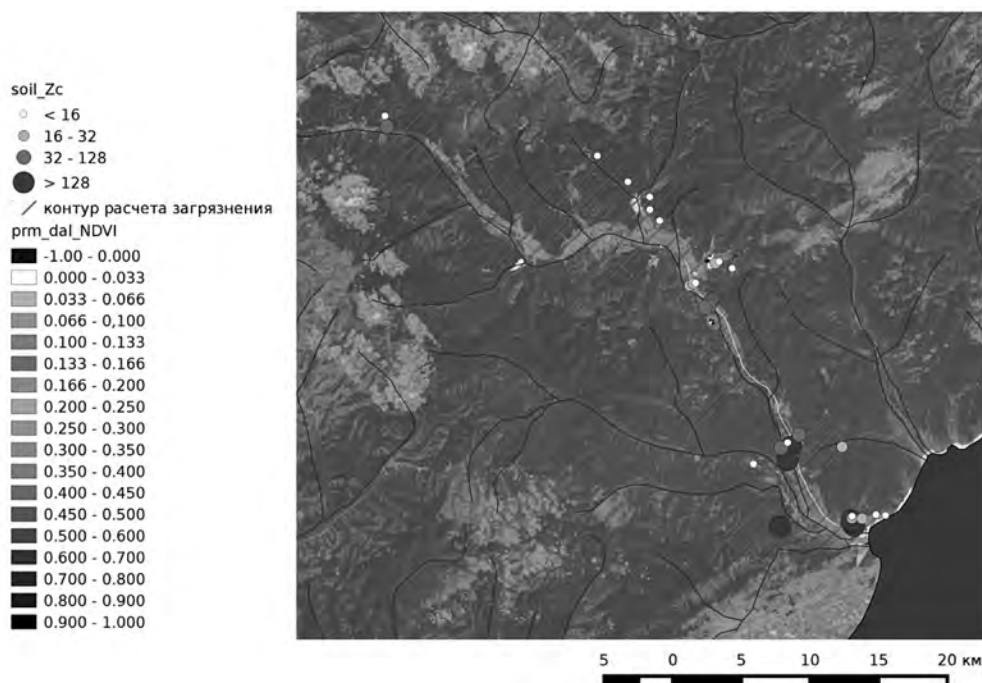


Рис. 2. Классификация Дальнегорского промышленного района горнопромышленной разработки по NDVI для оценки экологических рисков

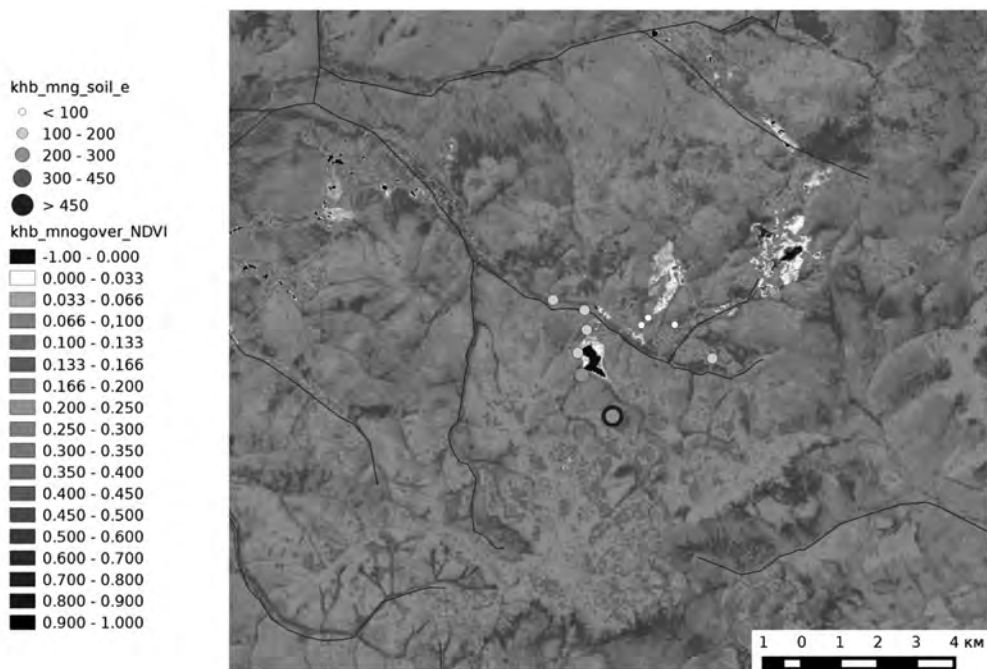


Рис. 3. Классификация Нижнеамурского промышленного района горнопромышленной разработки по NDVI для оценки экологических рисков

Из таблиц видно, что индекс NDVI тем больше, чем менее токсичные почвы. Таким образом, в качестве интегрального индикатора экологического риска окружающей среды в районах горнопромышленной разработки предлагается использовать нормализованный вегетационный индекс и степень загрязнения почв сформировавшихся вокруг источников загрязнения. Из анализа исключены те площади, на которых угнетение растительности определяется естественными причинами, например высокогорные ландшафтные зоны, поля распространения курумов и т.д. Для примера, на рис. 1 сравнение Zc и NDVI проводилось по заштрихованной площади. Результаты построения карты представлены на рис. 2–3.

Полученная классификация позволяет ранжировать территорию горнопромышленного освоения по уровню сохранившегося здорового раститель-

ного покрова территории (величина NDVI) и распределить их по 3-м группам риска:

1) значение NDVI – от 0,6 до 0,4 – почвы нетоксичные; районы III категории рисков;

2) значение NDVI – 0,5 до 0,3 – умеренно загрязненные; районы II категории экологических рисков;

3) значение NDVI – 0,3 до 0 – сильно токсичные; районы I категории экологических рисков.

Таким образом, по уровню сохранившегося здорового растительного покрова можно определить уровень загрязнения почв и отнести к группе экологического риска. Дополнительные экспериментальные исследования по определению загрязнения почв помогут определить зависимость от типов почв и динамику изменения степени токсичности почв в районах горнопромышленного освоения.

1. Об охране окружающей среды: федер. закон. – М.: Экзамен, 2006. – 62 с.
2. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Мысль, 1990. – 335 с.
3. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
4. Калабин Г.В., Галченко Ю.П. Методология количественной оценки нарушенности территории по данным сопряженного дистанционного и наземного мониторинга и ее апробация // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 2. – С. 10–16.
5. Borzuchowski J., Schulz K. Retrieval of Leaf Area Index (LAI) and Soil Water Content (WC) Using Hyperspectral Remote Sensing under Controlled Glass House Conditions for Spring Barley and Sugar Beet // Remote Sensing. – 2010. – № 2. – 1702–1721 с.
6. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Грехнев Николай Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: grh@igd.khv.ru,
 Липина Любовь Николаевна – кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: GEO-LIPINA@rambler.ru,
 Усиков Виталий Игнатьевич – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, e-mail: v-i-usikov@yandex.ru,
 Институт горного дела ДВО РАН.

UDC 528.91:004.9

TO QUESTION OF ASSESSING ECOLOGICAL RISK USING METHOD REMOTE SENSING OF THE EARTH

Grekhnev N.I.¹, Candidate of Geological and Mineralogy Sciences, Leading Researcher, e-mail: grh@igd.khv.ru,
 Lipina L.N.¹, Candidate of Technical Sciences, Researcher, e-mail: GEO-LIPINA@rambler.ru,
 Usikov V.I.¹, Candidate of Economical Sciences, Senior Researcher, e-mail: v-i-usikov@yandex.ru,
¹ Institute of Mining of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russia.

Production activity of mining and metallurgical enterprises of nonferrous metallurgy associated with the extreme negative impact on the environment. The production and natural risks, acting together can lead to serious consequences of various sizes. The ecological risk assessment is a consistent, comprehensive consideration of all aspects of the impact analyzed factors on land, water, atmosphere and human health, i.e. in a broad sense on the ecological state of the environment. One of the most typical negative effects of human impact is the contamination of soils. Indicators of soil contamination are chemical concentration factor (K_{si}) and total pollution index (ZC). Remote sensing of the earth reveals the territory transformed by technogenesis and mining production, as well as to track temporal changes in the natural environment. The condition vegetation reflects the soil quality, including the degree of their pollution. The Normalized Difference Vegetation Index-NDVI is a most common his assessment and a simple quantitative rate of photosynthetically active biomass. Examples of its use are described in the article.

Key words: environmental risks; remote sensing of the earth; total pollution indicator; Normalized Difference Vegetation Index; NDVI.

REFERENCES

1. Ob okhrane okruzhayushchey sredy: federal'nyy zakon (Environmental protection: Federal law), Moscow, Ekzamen, 2006, 62 p.
2. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* (Geochemistry of the environment), Moscow, Mysl', 1990, 335 p.
3. Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. *Geomatika*. 2009, no 3, pp. 28–32.
4. Kalabin G.V., Galchenko Yu.P. *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2007, no 2, pp. 10–16.
5. Borzuchowski J., Schulz K. Retrieval of Leaf Area Index (LAI) and Soil Water Content (WC) Using Hyperspectral Remote Sensing under Controlled Glass House Conditions for Spring Barley and Sugar Beet. *Remote Sensing*. 2010, no 2. 1702–1721 с.
6. Cherepanov A.S. *Geomatika*. 2011, no 2, pp. 98–102.