



МАКСИМОВИЧ Н.Г.

Зам. директора по научной работе, зав. лабораторией геологии техногенных процессов Естественно-научного института Пермского государственного университета

АНДРЕЕВ А.И.

Инженер-исследователь Естественно-научного института Пермского государственного университета

ВОРОНЧИХИНА Е.А.

Старший научный сотрудник Естественно-научного института Пермского государственного университета

MAXIMOVICH N.G.

The deputy director on research work, the head of the laboratory of technogeneous processes geology of the Natural Sciences Institute of Perm State University

ANDREEV A.I.

Research engineer of the Natural Science Institute of Perm State University

VORONCHIKHINA E.A.

Senior scientist of the Natural Sciences Institute of Perm State University

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ: ПОИСК КОМПЛЕКСНЫХ КРИТЕРИЕВ

ACTUAL QUESTIONS OF ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SURVEY: SEARCHING COMPLEX CRITERIA

Ключевые слова: инженерно-экологические изыскания; геосистема; экологическая оценка; комплексные интегральные критерии; космическая съемка; фотометрическое моделирование; фотометрическое структурирование участка; фитопродуктивность; кислородопродуктивность; утилизационный потенциал; эталонная территория; зональный оптимум; интегральный показатель; степень нарушенности; эколого-хозяйственный ущерб.

Аннотация: в статье рассматривается применение фотометрического метода для дешифрирования материалов космической съемки в видимом диапазоне с трехканальным (RGB) цветовым отображением территории для инженерно-экологических изысканий. Информация обрабатывалась с попиксельной фиксацией хроматических различий в соответствии с уравнением Евклидовой разности. Для построения картографического изображения использовался эталонный участок территории, соответствующий зональному оптимуму типичной таежной экосистемы. Применение метода позволяет оптимизировать оценку экологического состояния территорий для принятия хозяйственных решений

Key words: engineering and environmental survey; geosystem; environmental assessment; complex integral criteria; cosmic survey; photometric modeling; photometric plot structuring; phytproductivity; oxygen productivity; utilization potential; reference area; zonal optimum; integral indicator; disturbance degree; ecological and economic damage.

Abstract: the article considers using the photometric method for decoding cosmic survey materials in the visible range with the three-channel (RGB) color display of a territory for engineering and environmental survey. The data was processed with per-pixel fixing chromatic differences in accordance with the equation of Euclidean difference. For constructing the cartographical picture a reference plot area corresponding to the zonal optimum of the typical taiga ecosystem was used. Using this method allows to optimize ecological state assessment of territories for economic decisions.

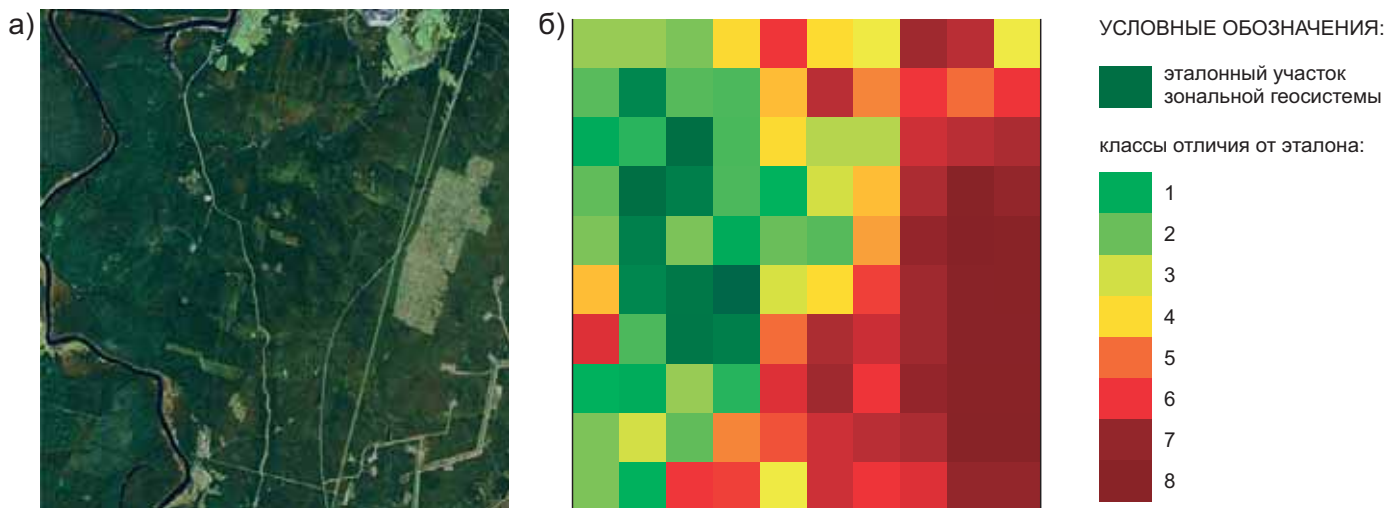


Рис. 1. Космический снимок лицензионного участка (а) и его фотоцветовая интерпретация (б)

В связи с переходом на новую систему организации проектно-изыскательских работ в строительстве после вступления в силу Федерального закона «О саморегулируемых организациях» (2007) возникла необходимость обновления сложившейся стратегии и нормативной базы оценочных исследований, в том числе в части инженерно-экологических изысканий. Эта проблема уже поднималась на страницах данного журнала в статьях Н.А. Чижова [7], Т.А. Лариной [3] и др.

Присоединяясь к точке зрения выше-названных авторов, считаем целесообразным поделить многолетним опытом инженерно-экологической оценки природной среды при выборе площадок под строительство объектов повышенной экологической опасности, таких как промышленный комплекс по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области, мощности по добыче и переработке рудных ископаемых и углеводородного сырья [2, 4, 6] и др. Опыт инженерно-экологических изысканий показал, что сложившаяся стратегия имеет как минимум три слабых звена.

Во-первых, нормативная база инженерно-экологических изысканий [5] ориентирована на компонентную оценку природной среды и предполагает автономное изучение геологических условий, климата, вод, почв, растительности, животного мира, социальных и хозяйственных факторов. Для каждого компонента и фактора используются свои оценочные критерии, причем в ряде случаев они основаны на качественных характеристиках и далеко не всегда объективно отражают сложившиеся условия. В результате проведения инженерно-экологических изысканий получается конгломерат сведений о при-

родных компонентах предполагаемых участков строительства, из которого сложно выбрать оптимальный вариант, поскольку компонентные приоритеты для рассмотренных площадок не совпадают: на одной площадке наибольшей ценностью считается растительный покров, на другой — почвы и т.д. Именно это в немалой степени способствует скептическому отношению к экологическим ограничениям в строительных

работах, важность которых, тем не менее, неоспорима.

Во-вторых, будучи ориентированной на фактическое состояние природных компонентов, сложившаяся стандартная программа инженерно-экологических изысканий не учитывает их изменения, обусловленные естественной динамикой природной среды. Поэтому из поля зрения зачастую выпадают важные аргументы, которые мо-



Рис. 2. Общий вид эталонного участка зональной геосистемы

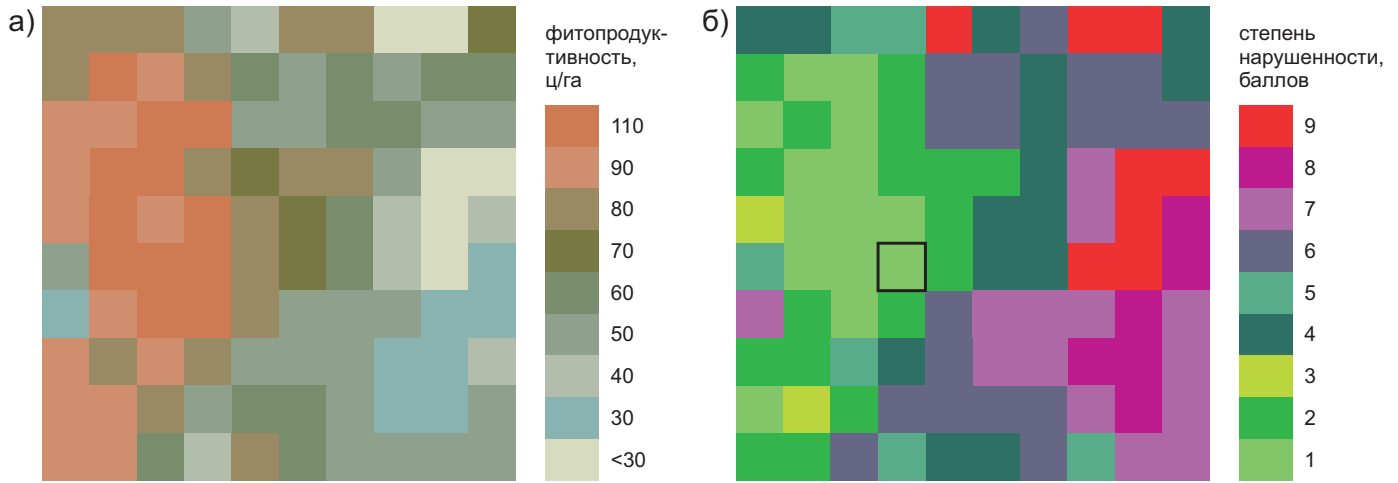


Рис. 3. Фотометрическая модель территориальных флуктуаций экологических параметров геосистем относительно эталона (квадратом отмечено положение эталона на местности)

гут сыграть определяющую роль в принятии решений. Так, на выбор площадки под размещение промышленного комплекса по утилизации химического оружия в Курганской области существенное влияние оказал фактор естественной динамики лесостепных комплексов, тесно связанной с климатической цикличностью (12-летними циклами Чижевского), объединяющей сухие и относительно влажные фазы продолжительностью примерно по шесть лет [2]. Смена климатических фаз определяет изменение всех природных компонентов. При наступлении сухой фазы из состава растительного покрова выпадают не приспособленные к сухости, в том числе редкие (краснокнижные), виды; увеличивается доля галофитов; нарастает засоленность почвенного слоя и грунтовых вод; меняется положение уровня их залегания. С наступлением влажной фазы обстановка меняется — увеличивается гумидность; снижается засоленность почв и вод; редкие виды восстанавливают численность, вытесняя галофиты, и т.д. Отсюда очевидно, что характеристика биотических компонентов, составленная на определенный период времени, может не отражать фактической ценности природного территориального комплекса в целом.

В-третьих, слабым звеном принятой стратегии инженерно-экологических изысканий является и тот факт, что за пределами ее внимания остаются некоторые важные экологические аспекты, такие как возможное воздействие строящегося объекта на прилегающие территории и на изменение регионального природного потенциала в целом под влиянием изъятия территориального участка; отдаленные во времени последствия строительства и др. В

большинстве случаев не учитывается, что любая хозяйственная деятельность подразумевает не только однозначно негативные экологические изменения, на чем обычно заостряется внимание инженерно-экологической оценки. Наряду с негативными процессами может иметь место и положительная динамика, которую следует иметь в виду для извлечения хозяйственной выгоды.

Необходимость охвата всей совокупности природных процессов усложняет и без того насыщенную программу инженерно-экологических изысканий. Экспертный анализ итоговых материалов показывает, что в полном объеме, предусмотренном действующим сводом правил [5], изыскания практически не проводятся. Набор исследуемых параметров окружающей среды обычно определяется техническими возможностями организации-исполнителя и объемами финансирования.

Реализация инженерно-экологических изысканий в полном объеме, предпринятая нами при строительстве объекта уничтожения химического оружия в Курганской области, потребовала столь высоких финансовых затрат, что в любом другом случае они поставили бы под сомнение целесообразность строительства вообще. Они оказались возможными только благодаря тому, что финансирование осуществлялось из средств международного фонда, выделенных на совместный российско-американский проект по безопасному уничтожению арсенала химического оружия. Полученная в итоге инженерно-экологических изысканий документация по данному проекту была изложена в 7 томах текстовых документов общим объемом свыше 1,5 тыс. страниц [4]. Такой объем информации с трудом поддается гене-

рализации, необходимой для принятия проектных решений. Этот опыт свидетельствует о необходимости обновления сложившейся системы инженерно-экологических изысканий.

Перспективным представляется использование комплексных индикационных показателей, позволяющих оценивать не обособленные природные компоненты, а весь территориальный комплекс, рассматриваемый в качестве функционально целостной, саморегулируемой геосистемы. Для этих целей нами были апробированы стандартные эколого-геосистемные показатели: фитопродуктивность, кислородопродуктивность и утилизационный потенциал [2].

Фитопродуктивность — показатель функциональной активности геосистемы, выраженный в количестве нарастающей за единицу времени растительной массы на единице площади. Индикационные свойства этого показателя обусловлены тем, что геосистемы с наиболее высокой фитопродуктивностью одновременно характеризуются и лучшим, наиболее сбалансированным состоянием образующих их компонентов: уровнем биоразнообразия, видовым статусом, плодородием почв и т.д. Чем больше растительной массы производит геосистема, тем выше ее хозяйственная ценность. Таким образом, фитопродуктивность можно рассматривать в качестве интегрального показателя, объективно отражающего сложившийся природный потенциал территории экологических изысканий. Производными от этого основного показателя являются кислородопродуктивность и утилизационный потенциал.

Кислородопродуктивность характеризует способность геосистемы производить биогенный газ кислород, кото-

рый в данном случае является побочным продуктом (отходом) важнейшего функционального процесса — фотосинтеза. Для обеспечения этого процесса геосистема поглощает солнечную энергию, воду и углекислый газ, используя данные ингредиенты как основу создаваемых растительных клеток и отторгая ненужный им кислород. Количество кислорода, произведенного в ходе фотосинтеза, принято выражать в тоннах на единицу площади за единицу времени. Количественное значение кислородопroduцирующей активности геосистемы определяется экологическим состоянием ее растительного компонента и рассчитывается согласно уравнению фотосинтеза. При детальной количественной оценке учитывается видовой состав растительности. Для упрощенной оценки используется средний расчетный коэффициент, согласно которому количество произведенного кислорода составляет 1,38 единицы фитопродуктивности [1].

Утилизационный потенциал геосистемы характеризует ее способность поглощать «парниковый» углекислый газ, что приобретает все большую важность на фоне происходящих климатических деформаций. Расчет этого показателя основан на том, что средний стандартный уровень поглощения углекислого газа растительным покровом в процессе фотосинтеза составляет 1,49 единицы на одну единицу нарастающей растительной массы [1].

С нашей точки зрения, введение перчисленных функциональных показателей в систему инженерно-экологической оценки упростит ее, повысит объективность полученных результатов и позволит перейти от абстрактных качественных оценочных характеристик к строго количественным, то есть приведет систему оценки в соответствие с реалиями сегодняшнего дня.

Известную сложность в предлагаемой стратегии представляет вычленение однородных геосистемных ареалов на местности. Для этих целей нами был апробирован *фотометрический метод дешифрирования материалов космической съемки* в видимом диапазоне с трехканальным (RGB) цветовым отображением территории (рис. 1 а, б).

В качестве территориального объекта апробации был использован лицензионный участок под разработку Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. На стадии инженерно-экологических изысканий было выполнено рекогносцировочное обследование, в ходе которого в границах участка была выделена *эталонная территория*, соответствующая *зональному оптимуму* состояния и функционирования природной геосистемы (рис. 2).

Относительно эталона с привлечением материалов космической съемки была проработана специфика фотоцветового изображения всего лицензионного участка. Для этого последний был раз-

бит на элементарные фрагменты — квадраты со стороной (в рассматриваемом случае равной 300 м при разрешении снимка 14 м/пикс., см. рис. 1 б), регламентируемой масштабом, соответствующим иерархическому уровню выделяемых структурных элементов геосистемы.

Дешифрирование было выполнено по формальным критериям — равномерности и специфичности полей общего (альbedo) и спектрального отражения. Затем фотометрически с помощью мозаичной кластеризации снимка в оптическом диапазоне с учетом отклонений от оптимума была построена цветовая модель участка (рис. 3), позволяющая снимать информацию о состоянии и функциональных параметрах любого из территориальных фрагментов, выражая ее как в конкретных (см. рис. 3 а), так и в абстрактных величинах, например в баллах техногенной нарушенности природной среды (см. рис. 3 б).

Фотометрическое структурирование лицензионного участка было дополнено полевым обследованием, в ходе которого были получены фактические количественные данные о выделенных цветовых ареалах. Их оценка была выполнена по отклонению количественных значений функциональных показателей от эталона, для чего был применен интегральный показатель (степень нарушенности), характеризующий суммарное снижение фитопродук-



Рис. 4. Фрагмент вторичной геосистемы с наименьшей степенью нарушенности (2 балла)



Рис. 5. Фрагмент техногенной территории с наибольшими геосистемными отклонениями от зонального эталона: на переднем плане — участок залежи со степенью нарушенности — 6 баллов; на заднем плане — отвал и объекты промышленной инфраструктуры рудника по добыче калийно-магниевых солей (степень нарушенности 9 баллов)

тивности, кислородопродуктивности и утилизационного потенциала геосистем под влиянием внешних, в том числе техногенных, факторов.

Функциональные показатели эталонной геосистемы в количественных величинах составили: фитопродуктивность — 110 ц/га; кислородопродуктивность — 15 т/га; утилизационный потенциал — 16 т/га в год. В совокупности данные характеристики соответствуют уровню нарушенности, выраженному единицей, и условно характеризуют естественное состояние зональной (эталонной) геосистемы.

С полученной фотометрической модели несложно снять информацию о территориальном распространении ареалов, различающихся по рассматриваемым показателям. В данном случае эталонная геосистема занимает 14% площади лицензионного участка. На остальной площади представлены ее вторичные производные с различной степенью нарушенности (см. рис. 3 б).

Наименьшие отклонения от эталона (то есть наименьшая степень нарушенности, равная 2 баллам) характерны для вторичных лесных геосистем, восстанавливающихся на территориях, сохранивших относительную целостность и высокий уровень почвенного плодородия (рис. 4). Фитопродуктивность таких геосистем составляет 60–70 ц/га; кислородопродуктивность — около 9 т/га; утилизационная активность — в пределах 10 т/га в год. Их территориальная распространенность составила 17% от общей площади лицензионного участка.

Наибольшую степень нарушенности, равную 9 баллам, имеет практически лишенный почвенно-растительного покрова территориальный участок, занятый промышленными отвалами и объектами производственной инфраструк-

туры (рис. 5). Фитопродуктивность данного участка составляет 1,2 ц/га; кислородопродуктивность — 0,2 т/га; утилизационный потенциал — 0,2 т/га в год. Ареал распространения данной техногенной геосистемы занимает 8% от площади лицензионного участка.

Используя функциональные характеристики геосистем различной степени нарушенности и их территориальные ареалы, несложно рассчитать величину ожидаемого ущерба, который будет нанесен природной среде при различных вариантах размещения объекта строительства. Предлагаемое фотометрическое моделирование в сочетании с рассмотренными интегральными эколого-геосистемными показателями существенно упрощает процедуру инженерно-экологических изысканий и позволяет минимизировать эколого-хозяйственный ущерб.

Заключение

Сложившаяся стратегия инженерно-экологических изысканий требует

обновления. Составляющий ее основу компонентный подход зачастую субъективен, требует длительного времени и не отвечает запросам практики, нуждающейся в быстрой и объективной оценке экологической ситуации. Нужны комплексные, законодательно подкрепленные интегральные критерии оценки, позволяющие объективно и в количественных величинах характеризовать состояние природной среды.

Предлагаемый подход, основанный на фотометрическом методе картографического моделирования с использованием функционально-индикационных показателей экологического состояния однородных территориальных участков (геосистем) — фитопродуктивности, кислородопродуктивности и утилизационного потенциала, позволяет относительно быстро получать объективную информацию, необходимую для инженерно-экологической оценки. Поскольку интегральные показатели выражаются конкретными количественными величинами, которые легко трансформируются в материально-денежный эквивалент, их введение в систему инженерно-экологических изысканий позволит повысить объективность результатов, устранить противоречия, неизбежные при частных компонентных оценках, и ускорить таким образом процесс принятия оптимальных хозяйственных решений.

Настоящая работа была подготовлена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 «Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».

Список литературы

1. Беручашвили Н.Л. Геофизика ландшафта. М., 1990. 287 с.
2. Ворончихина Е.А. Опыт ландшафтных исследований для целей ОВОС // География и регион. Пермь, 2002. С. 27–31.
3. Ларина Т.А. Старые и новые проблемы изысканий // Инженерные изыскания. 2009. № 12. С. 16–18.
4. Максимович Н.Г., Шенфельд Б.Е., Ощепкова А.З., Хайрулина Е.А. Опыт проведения комплексных инженерно-экологических изысканий объекта по уничтожению химического оружия // Сергеевские чтения: Материалы годич. сесс. науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 8. М.: ГЕОС, 2006. С. 40–44. — <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0310.html>
5. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Госстрой РФ, 1997.
6. Хайрулина Е.А., Ворончихина Е.А., Максимович Н.Г. Ландшафтно-геохимические особенности лесостепных экосистем Курганского Зауралья // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика. М.: Изд-во МГУ, 2006. С. 357–359. — <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0315.html>
7. Чижов Н.А. Цели и задачи инженерно-экологических изысканий в проектно-изыскательском производстве // Инженерные изыскания. 2009. № 11. С. 26–32.