

Метод дистанционного зондирования Земли в составе работ по оценке объемов техногенного сырья и экологической обстановки при эксплуатации россыпей

В.С. Литвинцев, В.И. Усиков, Ю.А. Озарян, В.С. Алексеев*

Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Известно, что одной из основных проблем недропользования на сегодняшний день является истощение запасов. В качестве источника восполнения ресурсной базы исследователи рассматривают горнопромышленные отходы. Споры на тему перспективности переработки техногенного сырья приобретают особую актуальность. Объектом исследования авторы статьи выбрали техногенные новообразования, явившиеся последствием дражной и гидравлической переработки россыпного золота. В работе приведены результаты оценки перспективы и места применения информационных технологий, в частности, анализа данных дистанционного зондирования Земли при проектировании и организации работ по вовлечению в эксплуатацию техногенных россыпей. Показано, что эти технологии способны повысить эффективность работ и снизить трудозатраты на стадии предварительного изучения потенциальных объектов разработки.

Рассмотрены возможности детализации объектов инфраструктуры горно-перерабатывающего комплекса. Предложено использование вегетационного индекса растительности в нетрадиционное для исследования растительности время вегетационного сезона с целью выделения хвойных пород деревьев на сформированных вторичных фитоценозах. Проведена площадная оценка техногенного сырья Кербинского золото-россыпного узла. Выполнен анализ методического подхода, основанного на данных дистанционного зондирования. Затронуты аспекты естественного восстановления растительности в постэксплуатационный период. Предложены оптимальные сочетания комбинаций каналов растровых данных для исследования территории в границах исследуемого объекта.

Ключевые слова: техногенное сырье, оценка запасов, техногенные новообразования, дистанционное зондирование, естественное восстановление

Для цитирования: Литвинцев В.С., Усиков В.И., Озарян Ю.А., Алексеев В.С. (2021). Метод дистанционного зондирования Земли в составе работ по оценке объемов техногенного сырья и экологической обстановки при эксплуатации россыпей. *Георесурсы*, 23(4), с. 116–123. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.13>

Введение

Горнодобывающая промышленность вносит значительный вклад в мировую экономику и при этом оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В настоящее время добыча полезных ископаемых приводит к сильным гидробиогеохимическим изменениям в экосистеме (Evans et al., 2015; Feng et al., 2019) и считается одним из наиболее разрушительных видов экономической деятельности, вызывающих ухудшение функционирования естественной экосистемы. Увеличение объема поверхностного стока способствует возникновению зон затопления (Singh et al., 2013, 2015; Nemčić-Jurec et al., 2017; Kumar et al., 2017, 2018), изменению климата, потере среды обитания (Singh et al., 2017) и изменению демографии ландшафта (Skole et al., 1994; Johnson et al., 1997; Pandey et al., 2012).

Одним из основных направлений недропользования в Дальневосточном Федеральном округе (ДФО) является освоение месторождений россыпного золота. В Хабаровском крае в прошлом веке 90 % золота и вся платина добывались из россыпных месторождений. Сейчас эта доля значительно сократилась, тем не менее,

россыпной металл вносит существенный вклад в общий объем добычи. Промысел золота в Хабаровском крае ведется более 130 лет, здесь расположены крупнейшие месторождения россыпного золота. Вследствие такой интенсивности разработки запасы металла существенно сократились, и значительного их прироста не ожидается. Для увеличения сырьевой базы и добычи драгоценных металлов следует вовлечь в эксплуатацию техногенные образования (гале-эфельные отвалы золотодобычи) с внедрением новых технологий и оборудования. По экспертным оценкам специалистов, в техногенных россыпях края находятся запасы мелкого и тонкого золота, способные продлить деятельность предприятий более чем на 10 лет¹. Перспективы техногенных россыпных месторождений золота только юга Дальнего Востока России можно оценивать в объеме, сопоставимом с уже изъятими запасами (Кузнецова и др., 2019).

Общей характерной особенностью техногенных образований золотосодержащих россыпей Дальнего Востока является накопление в них драгоценного металла таких классов крупности и морфологических форм, которые

* Ответственный автор: Владимир Сергеевич Алексеев
e-mail: alekseev-vs_83@mail.ru

© 2021 Коллектив авторов

¹ Постановление администрации Хабаровского края от 30 мая 2000 г. № 180: Об основных направлениях вовлечения в эксплуатацию техногенных образований россыпного золота.

не учитываются недропользователями при геологоразведке (Алексеев и др., 2018; Литвинцев и др., 2005). В Дальневосточном регионе богатые геогенные и доступные россыпи уже отработаны, и в настоящее время запасы россыпного золота сосредоточены в глубокозалегающих и техногенных месторождениях. Первые из них характеризуются сложным строением, повышенным содержанием глины в пластах и в отвальных комплексах, высоким коэффициентом вскрыши. Вторые – преобладанием тонких и мелких фракций полезного компонента и значительным усреднением содержания металла по объему отвала. Поэтому необходим научный поиск в создании новых, перспективных технологий разработки месторождений и оборудования для обогащения полезного ископаемого, а также выявление первоочередных техногенных объектов россыпной золотодобычи.

Хотя наибольшее отрицательное воздействие на экосистемы экономически мало освоенных территорий оказывают лесозаготовки, влияние россыпной добычи существенно. При освоении месторождений россыпного золота в целом по золотодобывающим предприятиям Дальневосточного региона сохраняется тенденция накопления земель, нарушенных горными работами, но темпы рекультивации низкие (0,01 %), и в последние годы она практически не проводится. Происходит постоянное накопление земель на балансе горного предприятия. Таким образом, очевидна актуальность исследований, направленных на оценку объемов техногенного сырья и перспективы их освоения, а также определения возможности естественного восстановления растительности для снижения площади земель, вовлекаемых в переработку.

Материалы и методы

Комплекс работ для подготовки и вовлечения в разработку техногенных россыпей включает в себя геологические, горнодобывающие, технологические, географические, экологические, экономические виды исследований. Без учета юридической стороны вопроса, для организации производства требуется выбор золотоносного района, выявление собственно техногенных объектов, разработка и внедрение технологии, предварительная оценка ресурсов и оценка экономической целесообразности их освоения и экологических рисков, а также прогноз развития ситуации. Для крупнообъемных россыпей может потребоваться учесть наличие потенциальной ценности сопутствующей минерализации: многие россыпи региона содержат минералы олова, вольфрама, титана, которые концентрируются в черном шлихе. В Кербинском районе они могут содержать корунд, берилл, аметист.

На стадии подготовки в этот ряд логично вписываются информационные технологии (ИТ) в варианте геоинформационных систем (ГИС). В первую очередь это касается использования данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). В данном случае это космические снимки и матрицы высот рельефа SRTM (Shuttle radar topographic mission) (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Их сильными сторонами являются широкая обзорность, высокая наглядность и оперативность получения данных. Кроме этого, благодаря обширному архиву становится возможной оценка хронологии процесса освоения месторождения и постэксплуатационного восстановления.

При оценке состояния природной среды использовались разновременные многозональные спутниковые снимки серии Landsat (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Из них извлекались одноканальные и многоканальные растровые слои, на основе которых строились виртуальные растры. Для выявления эффективного и надежного метода обнаружения нарушенных горными работами земель и расчета их площадей, в первую очередь подбирались наиболее информативные сочетания спектральных каналов для синтеза квазицветных изображений, позволяющие максимально точно выделить техногенные участки, оценить их строение и характерные особенности их расположения.

Для реализации ГИС-технологии обработки данных в предыдущие годы с целью изучения динамики развития экологической ситуации спроектирована и создана географическая база данных «Картографическая база данных FE-MI GIS» (Усиков и др., 2019).

В рамках исследования методом ДЗЗ осуществлен прогноз естественного восстановления растительности на территории после прекращения техногенного воздействия. Работа выполнена с использованием сервиса спутникового мониторинга «БЕГА-Science» (Лупян и др., 2011) для обоснования моделей ландшафтно-геохимической устойчивости и экологической емкости природной среды.

Описание объекта исследования

Объект исследования – Кербинский золото-россыпной узел. Узел характеризуется высокой плотностью россыпной золотоносности; площадь составляет 5,1 кг/км², линейная по запасам – 95 кг/пог. км, по прогнозным ресурсам – 186 кг/пог. км. Площадь района 6075 км². Наиболее продуктивными являются россыпи р. Семи, р. Гонгрена, р. Керби и др. В центральной части района россыпи практически отработаны, а часть их переведена в категорию техногенных. Остались в основном россыпи с низкими содержаниями золота или погребенные. Всего в Кербинском районе добыто 52252 кг золота, разведанных запасов числится 2591 кг, а прогнозных – 35,1 т. Содержание золота в россыпях колеблется от 86 до 962 мг/м³. Район характеризуется исключительной плотностью россыпной золотоносности: площадьная – 5,8 кг/км², линейная по запасам – 65,7 кг/пог. км, по прогнозным ресурсам – 455,3 кг/пог. км (Сорокин и др., 2000).

Общая площадь отработанных территорий составляет не менее 3600 га. По имеющимся данным, возможно обнаружение глубокозалегающих россыпей по притокам р. Семи, однако они характеризуются высокой обводненностью, низким гипсометрическим положением и значительной глубиной (до 30 м), что затрудняет отработку. Практический интерес представляют техногенные россыпи по р. Семи, р. Сулаkitкан, р. Ботоон, из которых в сумме добыто около 30 т золота. Прогнозные ресурсы по этим техногенным россыпям (с учетом технологических потерь в 15 % при разработке соответствующих природных россыпей) составляют более 5 т, но вероятное содержание низкое (на уровне 80 мг/м³). Многие геогенные россыпи узла характеризуются высокой глинистостью и мелким золотом. В процессе их первичной отработки значительная часть глины вымывается и складывается в илоотстойниках. Это облегчает гравитационное обогащение материала техногенных объектов, образовавшихся

на месте данных геогенных месторождений. Долина р. Керби, на участке от р. Куть до р. Маклан, характеризуется промышленной золотоносностью, однако золото распределено крайне неравномерно: отмечаются гнезда с очень высоким содержанием и с весьма низким. Среднее содержание золота на массу – около 50 мг/м^3 . Дразная отработка дает коэффициент намыва 0,43. Террасовые россыпи по р. Керби также характеризуются очень сложными условиями отработки и незначительными ресурсами. Несовершенство технологии добычи золота в начале XX века и, как следствие, высокое содержание металла в отходах горного производства обусловило возможность вовлечения в переработку техногенного материала из отвалов, расположенных в долинах рек, в том числе р. Керби. Еще в начале 2000-х годов исследователи утверждали, что по мере совершенствования техники, технологий разработки и обогащения песков роль техногенных объектов будет возрастать.

Повторная переработка гале-эфельных отвалов способствует значительной трансформации сформированных в процессе первичной переработки ландшафтно-геохимических условий, обусловленной изъятием и повторным перемещением больших масс горных пород и природных вод в пределах горного отвода. Техногенное загрязнение территории горно-промышленного освоения определяется составом горных пород и технологией добычи и переработки полезных ископаемых. Реки Семи, Сулактикан,

Керби, Нилан (Кербинского рудно-россыпного узла) расположены в антропогенно созданных долинах, представленных сложным комплексом открытых и покрытых растительностью отвалов, высотой до 5 м, искусственных водоемов, проток. Форма и протяженность техногенных россыпей зависит от мощности источника – геогенной россыпи. На снимках высокого разрешения четко дешифрируются основные объекты промышленной инфраструктуры предприятия. Особый интерес представляют отработанные и находящиеся в разработке месторождения россыпного золота, подъездные пути к участкам.

Результаты и их обсуждение

В результате мониторинга выявлены участки, на которых уже ведется отработка техногенных россыпей. В периоды прекращения добычи полезных ископаемых на отработанных участках фиксируется естественное восстановление растительности.

Для оценки перспективы освоения техногенных месторождений проведено дешифрирование спутниковых снимков с целью выделения отработанных золотороссыпных участков Кербинского золото-россыпного узла на основе цифровой модели рельефа. На базе матрицы высот SRTM03 построена карта инфраструктуры (рис. 1).

Преимущество такой карты состоит в том, что на официальных топокартах отсутствуют многие элементы технологической инфраструктуры: внутренние дороги

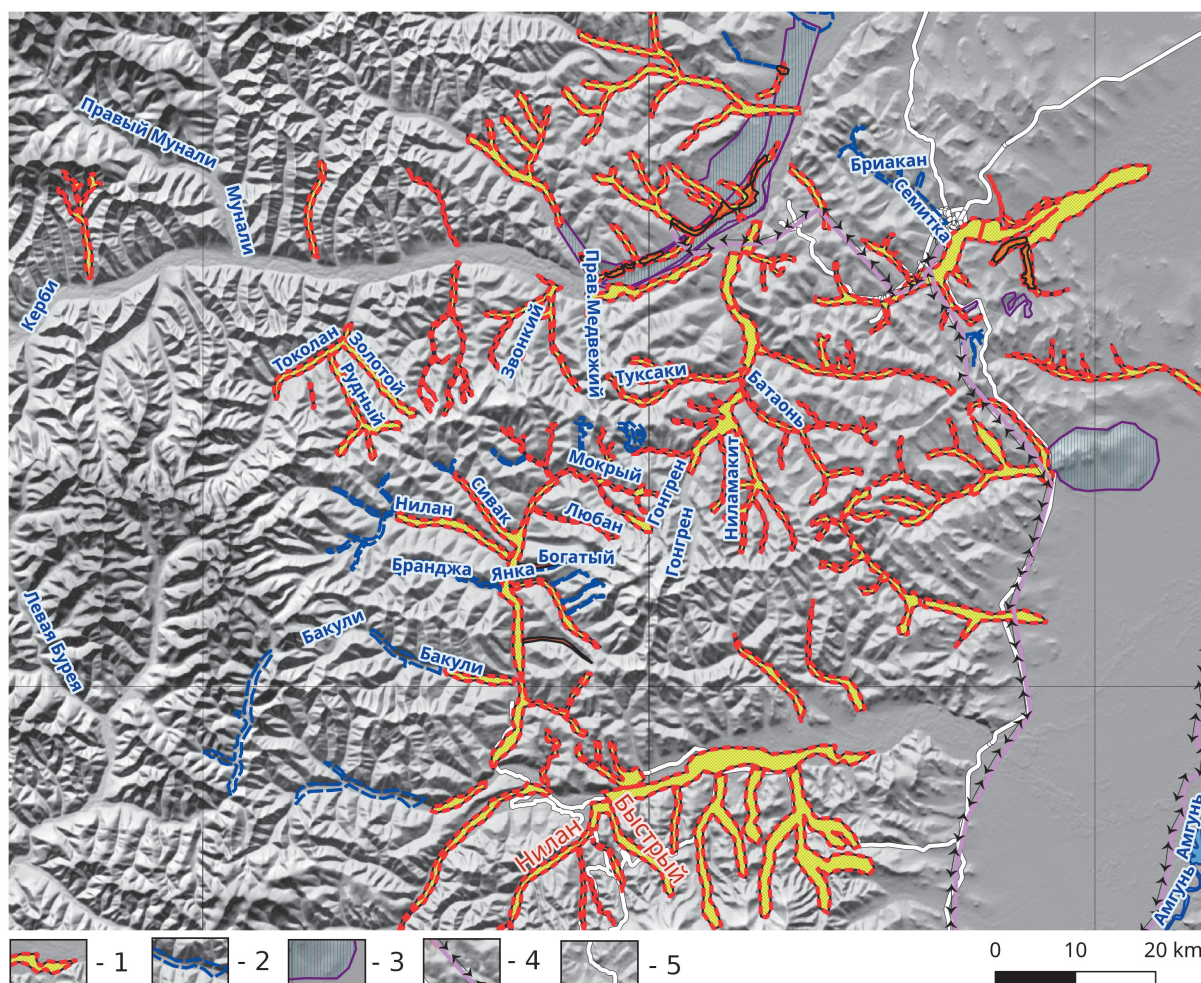


Рис. 1. Карта Кербинского золото-россыпного узла: 1 – полигоны дразной отработки; 2 – полигоны гидравлической отработки; 3 – площади разведочных работ; 4 – линии электропередач; 5 – дороги

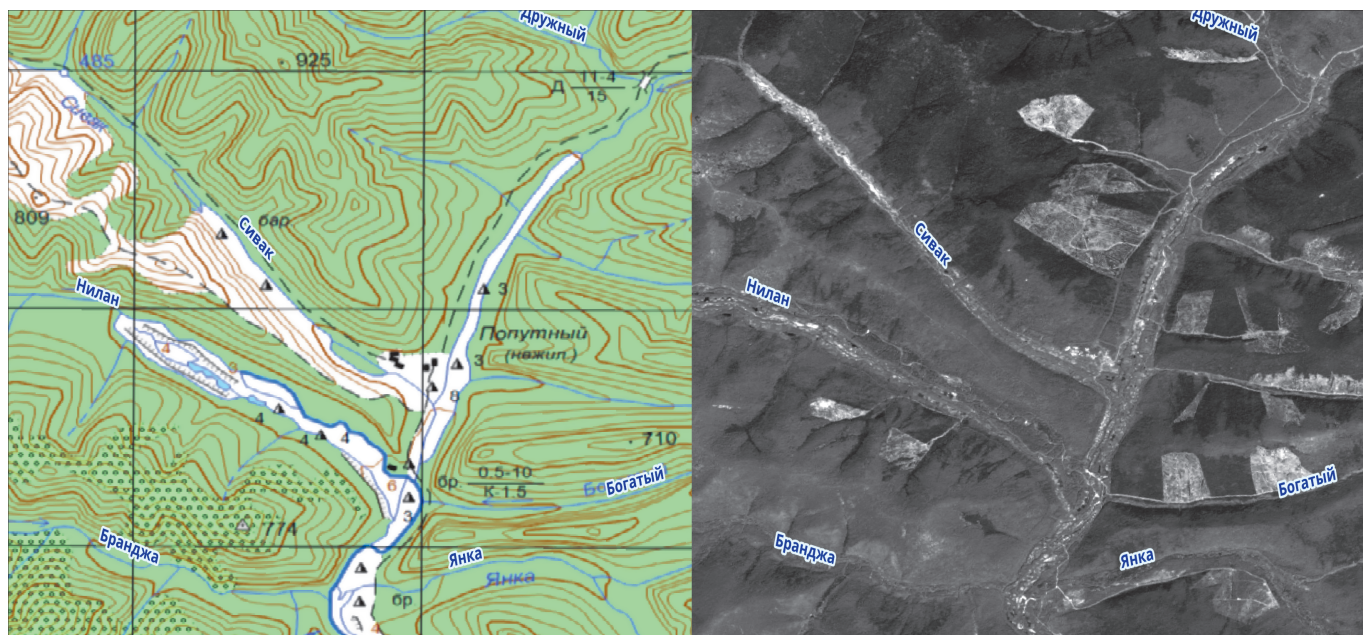


Рис. 2. Сравнение изображений исследуемой территории на топокарте и спутниковом снимке

узла, подъездные пути к россыпям, временные силовые линии для энергоснабжения механизмов, на спутниковых же снимках они уверенно отображаются (рис. 2). По снимкам можно предположительно оценить актуальное состояние дорог, например, вынесенная на карту грунтовая дорога по водоразделу Сиваки – Нилан на снимке выражена слабее других и местами прерывается, что позволяет предположить, что она находится в стадии зарастания.

Также на снимках распознаются участки с трансформированными и перемещенными грунтами, т.е. оконтуриваются собственно техногенные россыпи. В результате методических работ выявилось, что для такого оконтуривания наиболее подходящими являются синтезированные по группам спектральных полос (каналов) 6-5-4 или 7-5-3 цветные снимки, произведенные в безлиственный период на местности, и, как правило, бесснежный, т.е. весной или



Рис. 3. Синтезированное цветное изображение участка Кербинского золотоносного узла. Снимок Landsat 8, спектральные полосы 6-5-4. 1 – полигоны дражной отработки; 2 – полигоны гидравлической отработки россыпей; 3 – полигоны комбинированной отработки; 4 – участок врезки.

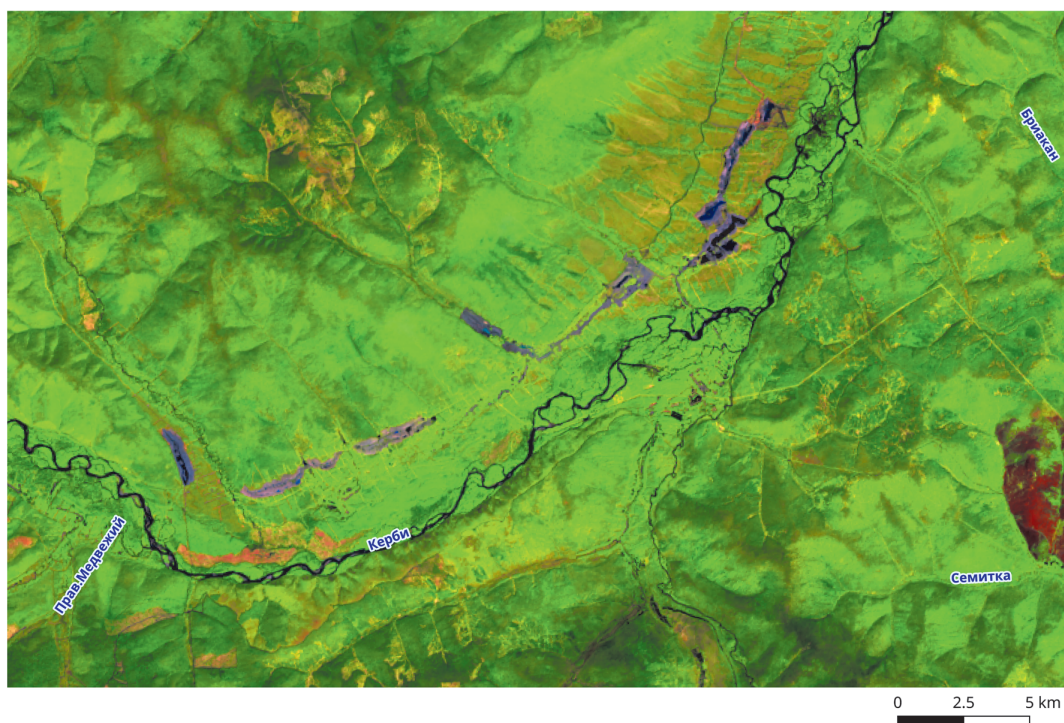


Рис. 4. Синтезированное цветное изображение участка в северной части Кербинского золотоносного узла. Снимок Landsat 8, спектральные полосы 6-5-4.

осенью. Иногда похожий результат получается в самом начале лета. Также для этого подходят карты нормализованного вегетационного индекса растительности NDVI. Эти же снимки можно использовать и при выявлении дражных полигонов по характерной текстуре изображения (рис. 3). В этой комбинации полос отвалы идентифицируются по изменению текстуры изображения, открытая вода отображается темно-синим, почти черным цветом, протяженные кривые соответствуют дражным ходам, которые особенно наглядно проявляются на полигонах нижнего течения рек Нилан, Сивак. Также уверенно идентифицируются участки долин рек и ключей, где добычными работами русла полностью трансформированы и превращены в цепи отвалов, содержащие отдельные пруды с проточной водой, дренирующей рыхлый материал, например, реки Бранджа, Янка и многие другие.

Повторная переработка гале-эфельных отвалов способствует значительной трансформации сформированных в процессе первичной переработки ландшафтно-геохимических условий, обусловленной изъятием и повторным перемещением больших масс горных пород и природных вод в пределах горного отвода. Многочисленными исследованиями установлено, что пространственная изменчивость состояния растений во времени может использоваться в качестве дополнительного индикатора (Strilesky et al., 2017; Wood et al., 2015; Petrone et al., 2014). Более ранними работами сотрудников Института горного дела ХФИЦ ДВО РАН установлено, что на отвалах золотодобычи происходит естественное самовосстановление фитоценозов (Озарян, 2018): в этом районе полное самозаращение происходит за 7–16 лет, поэтому специальные рекультивационные мероприятия для этого, вероятно, не требуются, но реальным ущербом можно считать нарушение участков русел рек, влияющее на водную фауну. Исходя из этого,

необходимым требованием при планировании рекультивации должно быть восстановление нормального водотока на таких участках.

Некоторые отработанные полигоны, выделенные на снимках, окрашены в розовые и лиловые тона (рис. 4), по аналогии с Комсомольским рудным районом, где таким образом индицируется антропогенное загрязнение территории продуктами окисления сульфидов (в первую очередь, пирита, арсенопирита, халькопирита). Следует обратить внимание на такие участки с точки зрения оценки экологических рисков. Многие из них довольно крупные для россыпных объектов, поэтому имеет смысл оценить потенциальную практическую значимость сопутствующей минерализации, а также возможные экологические риски от извлеченных на дневную поверхность химических соединений в качестве поллютантов.

Определенные коллизии с природоохранной зоной могут возникнуть при подготовке площадей для эксплуатации техногенных объектов, в частности, расчистки их от леса. Чтобы в минимальной степени затронуть более ценные, темнохвойные породы деревьев, нужно заранее оконтурить площади их распространения. Для этого необходимо использовать карты NDVI (Normalized difference vegetation index) и произвести классификацию путем выделения различных типов растительности. Однако возможен и более простой, оперативный и менее трудозатратный вариант применения NDVI – расчет индекса по снимку, произведенному ранней весной, после схода снежного покрова, но до появления травы и листьев. Рисунок 5 иллюстрирует данный прием. Карты NDVI используются также для уточнения местоположения и контуров техногенных россыпей.

NDVI, превышающие 0,2, идентифицируют площади, покрытые растительностью. Очевидно, что в начале мая это хвойные породы деревьев. Отрицательные значения

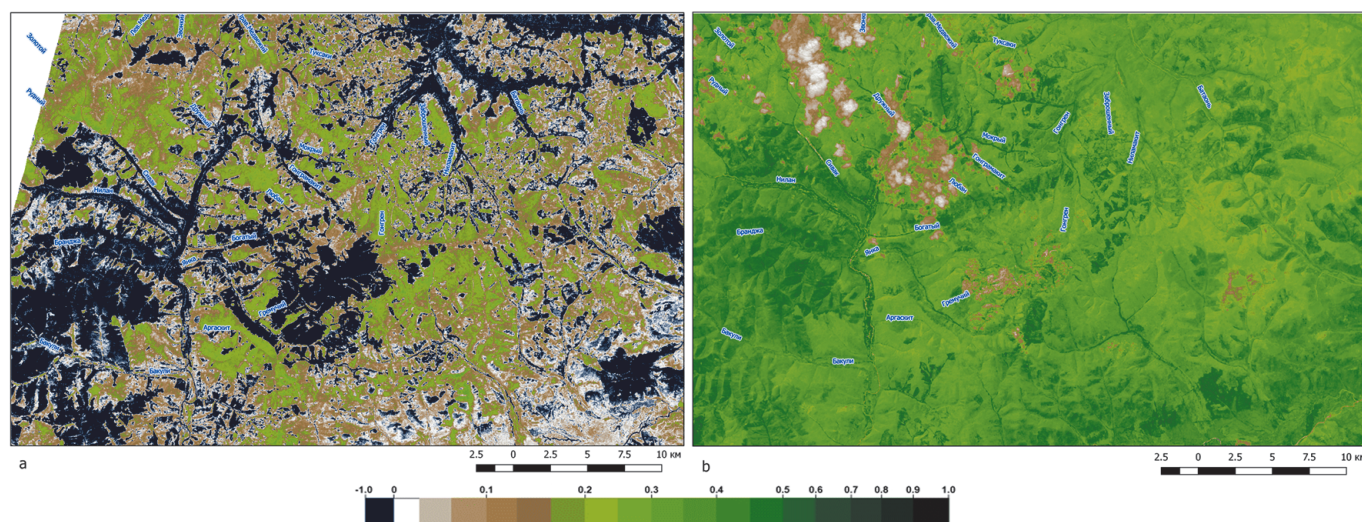


Рис. 5. Карта NDVI Кербинского золотороссыпного узла: а) 6 мая 2013; б) 16 июля 2013

индекса указывает на обнаженную поверхность, либо поверхностные воды.

Выводы

Промысел золота в Хабаровском крае ведется более 130 лет, поэтому запасы металла существенно сократились, и значительного их прироста не ожидается. Для увеличения сырьевой базы и добычи драгоценных металлов следует вовлечь в эксплуатацию техногенные образования (гале-эфельные отвалы золотодобычи) с внедрением новых технологий и оборудования. Прогнозные ресурсы по этим техногенным россыпям (с учетом технологических потерь в 15 % при разработке соответствующих природных россыпей) составляют более 5 т.

При подготовке техногенных месторождений к эксплуатации на стадии предварительного изучения объектов и площадей в комплексе работ целесообразно применять анализ данных ДЗЗ. По матрицам рельефа SRTM возможно уточнение деталей строения земной поверхности. По космическим снимкам с использованием разных спектральных полос синтезируются цветные и псевдоцветные изображения. На основе их анализа выявляются собственно техногенные объекты (полигоны первичной отработки), определяются их контуры и площади. Также определяются технологии разработки полигонов, применяемые при первичной разработке, участки рек с нарушенными руслами. По этим же снимкам выявляют технологическую инфраструктуру и возможность ее повторного использования. Во многих случаях удается выделить отвалы (части отвалов), содержащие в повышенных концентрациях сопутствующие минералы.

По картам NDVI фиксируются массивы более ценных темнохвойных лесов с целью минимизации ущерба, наносимого природной среде при организации работ.

Финансирование

Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2021-663.

Литература

- Алексеев В.С., Банщикова Т.С. (2018). Применение нетрадиционных технологий для извлечения золота из техногенных образований россыпей Приамурья. *Горный журнал*, 10, с. 52–57.
- Ван-Ван-Е А.П. (2010). Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. М.: Горная книга, 268 с.
- Геологическая служба США. <https://earthexplorer.usgs.gov/logout/expire>
- Кузнецова И.В., Сафронов П.П., Моисеенко Н.В. (2019). Вещественно-минеральная характеристика техногенных россыпей – потенциальных источников благородного металла (на примере Нижнеселенджинского золотоносного узла Приамурья, Россия). *Георесурсы*, 21(1), с. 2–14. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.2-14>
- Литвинцев В.С., Пономарчук Г.П., Банщикова Т.С. (2005). Морфологическая характеристика золота техногенных россыпей р. Джалинда и р. Бол. Инагли и проблемы его извлечения. *ГИАБ, Спец. вып. Дальний Восток*, с. 319–327.
- Лупян Е.А., Савин И.Ю., Бартаев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. (2011). Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА»). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 8(1), с. 190–198.
- Озарян Ю.А. (2018). Оценка естественного восстановления биоты в зоне воздействия горнодобывающих предприятий Хабаровского края по данным спутникового мониторинга. *Горный журнал*, 10, с. 84–88.
- Сорокин А. П., Ван-Ван-Е., Глотов В. Д. и др. (2000). Атлас основных золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока и их горно-геологические модели. Владивосток, Благовещенск, Хабаровск: ДВО РАН, 334 с.
- Усиков В.И., Липина Л.Н., Бубнова М.Б., Озарян Ю.А. (2019). Картографическая база данных MI-FE GIS. Свидетельство о регистрации базы данных 2019620201. РФ. Правообладатель ФГБУН ИГД ДВО РАН.
- Evans D.M., Zipper C.E., Hester, E.T., Schoenholtz S.H. (2015). Hydrologic effects of surface coal mining in Appalachia (U.S.). *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 51, pp. 1436–1452. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12322>
- Feng, Y., Wang, J., Bai, Z., Reading, L. (2019). Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review. *Earth-Science Rev.*, 191, pp. 12–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015>
- Johnson L.B., Richards C., Host G., Arthur J.W. (1997). Landscape influences on water chemistry in midwestern streams. *Freshw. Biol.*, 37, pp. 209–217.
- Kumar N., Singh S.K., Singh V.G., Dzwairo B. (2018). Investigation of impacts of land use/land cover change on water availability of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India. *Model. Earth Syst. Environ.*, 4, pp. 295–310. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-018-0425-1>
- Kumar N., Singh S.K., Srivastava P.K., Narsimlu B. (2017). SWAT Model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction of the Tons River Basin, India, using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) algorithm. *Model Earth Syst Environ.*, 3(30). <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-017-0306-z>
- Nemčić-Jurec J., Singh S.K., Jazbec A., Gautam S.K., Kovac I. (2019). Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigational purposes: two case studies of Koprivnica-Križevci County

(Croatia) and district Allahabad (India). *Sustain. Water Resour. Manag.*, 5, pp. 467–490. <http://dx.doi.org/10.1007/s40899-017-0200-x>

Pandey P.C., Sharma L.K., Nathawat M.S. (2012). Geospatial strategy for sustainable management of municipal solid waste for growing urban environment. *Environ. Monit. Assess.*, 184, pp. 2419–2431.

Petrone R., Chasmer L., Hopkinson C., Silins U., Landhauser S., Kljun N., Devito K.J., 2014. Effects of harvesting and drought on CO₂ and H₂O fluxes in an aspen-dominated western boreal plain forest: early chronosequence recovery. *Can. J. For. Res.*, 45(1), pp. 87–100.

Singh S.K., Srivastava P.K., Pandey A.C., Gautam S.K. (2013). Integrated assessment of groundwater influenced by a confluence river system: concurrence with Remote Sensing and Geochemical Modelling. *Water Resour. Manag.*, 27, pp. 4291–4313. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0408-y>

Singh S.K., Srivastava P.K., Singh D., Han D., Gautam S.K., Pandey A.C. (2015). Modeling groundwater quality over a humid subtropical region using numerical indices, earth observation datasets, and X-ray diffraction technique: a case study of Allahabad district, India. *Environ. Geochem. Health*, 37, pp. 157–180. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-014-9638>

Singh S.K., Srivastava P.K., Szilard, S., Petropoulos, G.P., Gupta, M., Islam, M. (2017). Landscape transform and spatial metrics for mapping spatiotemporal land cover dynamics using Earth Observation data-sets. *Geocarto Int.*, 32(2), pp. 113–127. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2015.1130084>

Strilesky S.L., Humphreys E.R., Carey S.K. (2017). Forest water use in the initial stages of reclamation in the Athabasca Oil Sands region. *Hydrol. Process*, 31(15), pp. 2781–2792.

Skole D.L., Chomentowski W.H., Salas W.A., Nobre A.D. (1994). Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience*, 44(5), pp. 314–322.

Wood M.E., Macrae M.L., Strack M., Price J.S., Osko T., Petrone P., (2015). Spatial variation in nutrient dynamics among five different peatland types in Alberta oil sands region. *Ecohydrology*, 9(4). <https://doi.org/10.1002/eco.1667>

Сведения об авторах

Виктор Семенович Литвинцев (1935–2020 гг.) – доктор тех. наук, профессор, главный научный сотрудник
Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН
Россия, 680000, Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51

Виталий Игнатьевич Усиков – кандидат экон. наук;
ведущий научный сотрудник
Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН
Россия, 680000, Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51

Юлия Александровна Озарян – кандидат техн. наук;
старший научный сотрудник
Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН
Россия, 680000, Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51

Владимир Сергеевич Алексеев – кандидат техн. наук;
ведущий научный сотрудник
Институт горного дела ХФИЦ ДВО РАН
Россия, 680000, Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51

Статья поступила в редакцию 12.12.2020;
Принята к публикации 08.09.2021;
Опубликована 30.11.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Remote sensing of the Earth as a part of research of assessing the volume of technogenic raw and the environmental situation during the exploitation of placers

*V.S. Litvintsev, V.I. Usikov, Yu.A. Ozaryan, V.S. Alekseev**

Institute of Mining – Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

**Corresponding author: Vladimir S. Alekseev, e-mail: alekseev-vs_83@mail.ru*

Abstract. It is known that one of the main nowadays problems of subsoil use is the depletion of reserves. Every year many researchers pay attention on mining waste as a source of replenishment of the resource base. Disputes on the prospects of processing technogenic raw materials are relevant. The object of research is the technogenic neoplasms, which were the result of dredging and hydraulic processing of placer gold. The paper presents the results of assessing the prospects and places of application of information technologies, in particular, the analysis of Earth remote sensing data in the design and organization of work to involve technogenic placers in operation. It is shown that these technologies are able to increase the efficiency of work and reduce labor costs at the stage of preliminary study of potential development targets.

Possibilities of detailing the infrastructure facilities of the mining and processing complex are considered. It is proposed to use the vegetation index at a non-traditional time for vegetation research in order to isolate coniferous trees on the formed secondary phytocenoses. An area assessment of the technogenic raw materials of the Kerba gold-placer cluster has been carried out. The analysis of the methodological approach based on remote sensing data is carried out. Aspects

of natural vegetation restoration in the post-exploitation period are covered. Optimal combinations of raster data channel combinations for the study of the territory within the boundaries of the object under study are proposed.

Keywords: technogenic raw materials, assessment of reserves, technogenic neoplasms, remote sensing, natural recovery

Acknowledgements

The studies were carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment «Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences», funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075-15-2021-663.

Recommended citation: Litvintsev V.S., Usikov V.I., Ozaryan Yu.A., Alekseev V.S. (2021). Remote sensing of the Earth as a part of research of assessing the volume of technogenic raw and the environmental situation during the exploitation of placers. *Georesursy = Georesources*, 23(4), pp. 116–123. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.13>

References

- Alekseev V.S., Banshchikova T.S. (2018). Non-conventional technologies for gold extraction from commercial placers of Priamurye. *Gornyi Zhurnal = Mining journal*, 10, pp. 52–57. (In Russ.)
- Evans D.M., Zipper C.E., Hester, E.T., Schoenholtz S.H. (2015). Hydrologic effects of surface coal mining in Appalachia (U.S.). *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 51, pp. 1436–1452. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12322>
- Feng, Y., Wang, J., Bai, Z., Reading, L. (2019). Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review. *Earth-Science Rev.*, 191, pp. 12–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015>
- Johnson L.B., Richards C., Host G., Arthur J.W. (1997). Landscape influences on water chemistry in midwestern streams. *Freshw. Biol.*, 37, pp. 209–217.
- Kumar N., Singh S.K., Singh V.G., Dzwauro B. (2018). Investigation of impacts of land use/land cover change on water availability of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India. *Model. Earth Syst. Environ.*, 4, pp. 295–310. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-018-0425-1>
- Kumar N., Singh S.K., Srivastava P.K., Narsimlu B. (2017). SWAT Model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction of the Tons River Basin, India, using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) algorithm. *Model. Earth Syst. Environ.*, 3(30). <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-017-0306-z>
- Kuznetsova I.V., Safronov P.P., Moiseenko N.V. (2019). Matter-mineral characteristics of technogene placers – potential sources of precious metals (on the example of the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing node of Priamurye, Russia). *Georesursy = Georesources*, 21(1), pp. 2–14. <http://dx.doi.org/10.18599/grs.2019.1.2-14>
- Litvintsev V.S., Ponomarchuk G.P., Banshchikova T.S. (2005). Morphological characteristic of gold of legacy placers of the Dzhailinda River and Inagli River and problems of its extraction. *GLAB = Mining informational and analytical bulletin*, Special edition – Far East, pp. 319–327. (In Russ.)
- Lupyan E.A., Savin I.Y., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Plotnikov D.E. (2011). Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa = Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 8(1), pp. 190–198. (In Russ.)
- Nemčić-Jurec J., Singh S.K., Jazbec A., Gautam S.K., Kovac I. (2019). Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigational purposes: two case studies of Koprivnica-Križevci County (Croatia) and district Allahabad (India). *Sustain. Water Resour. Manag.*, 5, pp. 467–490. <http://dx.doi.org/10.1007/s40899-017-0200-x>
- Ozaryan Yu.A. (2018). Assessment of natural biota rehabilitation in the influence zone of mining in the Khabarovsk Territory by satellite monitoring data. *Gornyi Zhurnal = Mining journal*, 10, pp. 84–88. (In Russ.)
- Pandey P.C., Sharma L.K., Nathawat M.S. (2012). Geospatial strategy for sustainable management of municipal solid waste for growing urban environment. *Environ. Monit. Assess.*, 184, pp. 2419–2431.
- Petrone R., Chasmer L., Hopkinson C., Silins U., Landhausser S., Kljun N., Devito K.J., 2014. Effects of harvesting and drought on CO₂ and H₂O fluxes in an aspen- dominated western boreal plain forest: early chronosequence recovery. *Can. J. For. Res.*, 45(1), pp. 87–100.
- Singh S.K., Srivastava P.K., Pandey A.C., Gautam S.K. (2013). Integrated assessment of groundwater influenced by a confluence river system: concurrence with Remote Sensing and Geochemical Modelling. *Water Resour. Manag.*, 27, pp. 4291–4313. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0408-y>
- Singh S.K., Srivastava P.K., Singh D., Han D., Gautam S.K., Pandey A.C. (2015). Modeling groundwater quality over a humid subtropical region using numerical indices, earth observation datasets, and X-ray diffraction technique: a case study of Allahabad district, India. *Environ. Geochem. Health*, 37, pp. 157–180. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-014-9638>
- Singh S.K., Srivastava P.K., Szilard, S., Petropoulos, G.P., Gupta, M., Islam, M. (2017). Landscape transform and spatial metrics for mapping spatiotemporal land cover dynamics using Earth Observation data-sets. *Geocarto Int.*, 32(2), pp. 113–127. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2015.1130084>
- Skole D.L., Chomentowski W.H., Salas W.A., Nobre A.D. (1994). Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience*, 44(5), pp. 314–322.
- Sorokin A.P. et al. (2000). Atlas of Charts of the Southern Far East Gold Placers and Their Mining and Geological Models. Vladivostok-Blagoveshchensk-Khabarovsk: FEB RAS, 334 p. (In Russ.)
- Strilesky S.L., Humphreys E.R., Carey S.K. (2017). Forest water use in the initial stages of reclamation in the Athabasca Oil Sands region. *Hydrol. Process*, 31(15), pp. 2781–2792.
- U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Usikov V.I., Lipina L.N., Bubnova M.B., Ozaryan Yu.A. (2019). MI-FE GIS Cartographic Database. Certificate of registration of the database 2019620201 RF. FSBSI IGD FEB RAS. (In Russ.)
- Van-Van-E A. P. (2010). Resource base of natural-anthropogenic gold placer deposits. Moscow: Gornaya Kniga, 268 p. (In Russ.)
- Wood M.E., Macrae M.L., Strack M., Price J.S., Osko T., Petrone P., (2015). Spatial variation in nutrient dynamics among five different peatland types in Alberta oil sands region. *Ecohydrology*, 9(4). <https://doi.org/10.1002/eco.1667>

About the Authors

Viktor S. Litvintsev (1935–2020) – DSc (Engineering), Professor, Senior Researcher

Institute of Mining – Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Vitaly I. Usikov – PhD (Economic), Leading Researcher
Institute of Mining – Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Yulia A. Ozaryan – PhD (Engineering), Leading Researcher
Institute of Mining – Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Vladimir S. Alekseev – PhD (Engineering), Leading Researcher

Institute of Mining – Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
51 Turgenev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Manuscript received 12 December 2020;

Accepted 8 September 2021;

Published 30 November 2021