ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(12):91-101
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.85:622.271.45:550.814 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_91

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА НА КАЧЕСТВО РЕЧНОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Ю.А. Озарян[1], Т.А. Кожевникова[2], В.Е. Окладников[2]

[1] Институт горного дела ДВО РАН – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, Хабаровск, Россия, e-mail: ozaryanigd@gmail.com
[2] Вычислительный центр ДВО РАН – обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Аннотация: Для Дальневосточного региона, вследствие его отдаленности, обширности территории и слабой развитости инфраструктуры, особую актуальность приобретает использование результатов дистанционного зондирование Земли для выявления и оценки техногенного воздействия на компоненты окружающей среды. Представлены результаты исследований, направленных на оценку качества речной воды в зоне воздействия добычи россыпного золота с использованием математического анализа временных рядов исследуемых показателей, а также на основе синтеза каналов обработанных снимков спутника Sentinel-2. Разработана регрессионная модель для прогноза значений мутности воды в труднодоступных местах. Объектом исследования являются природно-технические системы юга Дальнего Востока, в том числе в пределах Благодатненского россыпного узла. Для проведения исследования отобраны пробы речной воды и почвогрунтов. Проведено лабораторное исследование проб на содержание химических элементов, а также показатель мутности воды. В результате 47% проб воды имели мутность выше среднего значения по району. Разработана методика, позволяющая в дистанционном режиме проводить оценку качества речной воды в зоне воздействия россыпной золотодобычи. Выявлено, что добыча россыпного золота в бассейне р. Большая Уссурка существенно сказывается на мутности воды. Нормализация показателя происходит за счет разбавления водами впадающих рек. Для снижения мутности необходим комплекс мероприятий, направленных на очистку воды.

Ключевые слова: добыча россыпного золота, техногенное воздействие, дистанционное зондирование земли, математический анализ, геоинформационная система, мутность воды, мониторинг, природно-техническая система.

Благодарность: Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 24-11-20029, https://rscf.ru/project/24-11-20029/, и гранта Правительства Хабаровского края (Соглашение № 107С/2024 от 31.07.2024 г.) и с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН, финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2025-621.

Для цитирования: *Озарян Ю. А., Кожевникова Т. А., Окладников В. Е.* К вопросу оценки воздействия добычи россыпного золота на качество речной воды с помощью дистанционных методов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 12. – С. 91–101. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_91.

© Ю.А. Озарян, Т.А. Кожевникова, В.Е. Окладников. 2025.

Remote evaluation of gold placer mining impact on river water quality

Yu.A. Ozaryan[1], T.A. Kozhevnikova[2], V.E. Okladnikov[2]

[1] Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate division of the KhFRC FEB RAS, Khabarovsk, Russia, e-mail: ozaryanigd@gmail.com
[2] Computing center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate division of the KhFRC FEB RAS, Khabarovsk, Russia

Abstract: In the Far Eastern region of Russia, due to remoteness, territorial vastness and weak infrastructural development, it is particularly important to use remote sensing to detect and evaluate environmental impact of anthropogenic activities. This article describes the studies aimed evaluation of river water quality in the influence zones of gold placer mining using the mathematical analysis of time series of test indicators and by synthesizing Sentinel-2 satellite images. A regression model is developed for the prediction of water silt content in hard-to-reach places. The object of study is the natural-and-technical system in the south of the Russian Far East, including the Blagodatnoe cluster of placers. Samples of river water and soil were taken for the research. The chemistry and water silt content of the samples were tested in laboratory. It was found that 47% of the test water samples had a silt content higher than the average value over the test region. A procedure is elaborated, which allows remote evaluation of river water quality in the influence zone of gold placer mining. It is revealed that gold placer mining in the Bolshaya Ussurka river basin greatly contributes to build-up of water silt content. Normalization of this indicator takes place through mixing of this river with water of rivers flowing into it. Reduction of water silt content requires undertaking water clarification activities.

Key words: gold placer mining, anthropogenic impact, remote sensing, mathematical analysis, geoinformation system, water silt content, monitoring, natural-and-technical system.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 24-11-20029, https://rscf.ru/project/24-11-20029/, and by the Government of the Khabarovsk Krai, Agreement No. 107C/2024 dated July 31, 2024, and using resources of the Shared-Use Center for Minerals Research of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2025-621.

For citation: Ozaryan Yu. A., Kozhevnikova T. A., Okladnikov V. E. Remote evaluation of gold placer mining impact on river water quality. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12):91-101. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_91.

Введение

Центральный Сихотэ-Алинь, особенно его северная окраина, относится к числу старейших районов золотодобычи на Дальнем Востоке. Россыпи Пионерка и Кедровка расположены в пределах Благодатненского и Незаметнинского россыпных узлов, золотоносность которых стала известна с 1910 г. в результате заверочных работ по следам старых разработок [1]. Коренными источниками россыпей считаются золоторудные месторождения Благодатненское, Глухое и ряд рудопроявлений золота, аналогичные Нестеровскому и месторождениям Салют и Приморское. Ресурсы категорий Р1+Р2 по Благодатненскому узлу составляют 892 кг [2]. Узел отличается тем, что в пойменных и террасовых отложениях (даже на высоте 15 — 35 м)

р. Б. Уссурка отмечены промышленные содержания касситерита при переменных концентрациях золота и заметной доле магнетита. Закономерности распространения разнотипного оруденения свидетельствуют, что редкометальные россыпи характерны для центральной части Приморья [3, 4].

Добыча россыпного золота оказывает существенное влияние на качество речной воды, однако методы ее оценки остаются трудоемкими и дорогостоящими [5]. Таким образом, целью работы стала разработка методики оценки воздействия добычи россыпного золота на качество речной воды с использованием дистанционных методов.

Исходя из цели, определены следующие задачи:

- анализ состояния проблемы и методических подходов к ее решению;
- изучение выбранного объекта, выявление особенностей;
- разработка методики автоматического определения мутности речной воды с помощью спутниковых снимков.

Исследования влияния антропогенной деятельности на качество поверхностных вод регулярно проводятся по всему миру и свидетельствуют о специфическом воздействии горнодобывающей промышленности на водные ресурсы. Множество исследований в различных золотоносных провинциях мира посвящены оценке показателей качества воды, в том числе ее мутности [6 — 10]. Имеются работы по анализу взаимосвязи стационарных наблюдений за мутностью воды и данными дистанционного зондирования этих показателей (ДДЗ) [11]. Известно, что значения мутности снижаются в период дождей с увеличением количества осадков, что отражает влияние сезона [6]. Результаты анализов проб воды с участков золотодобычи выявили повышенную мутность в пробах и подтверждают потенциальные риски для здоровья и экологической нагрузки. Аналогичным образом, пробы воды показывают низкий уровень растворенного кислорода, что создает нагрузку на водную флору и фауну [8].

Наиболее линейно-обширные горнодобывающие ландшафты формируются при открытой добыче россыпного золота, платины и других драгоценных металлов из крупнозернистого аллювия в речных долинах. Здесь добыча полезных ископаемых из русловых (аллювиальных) отложений приводит к различным морфологическим изменениям. Эти процессы вызывают нерегулярные сбросы мутных сточных вод, а также интенсивную эрозию русла и берегов вдоль русловых отводов. Эрозия отвалов и загрязненной почвы в результате добычи россыпей является еще одним важным фактором изменений в переносе осадка. Кроме того, нарушение берегов рек во время промывки золота приводят к эрозии почвы и отложению осадков в ручьях. Это изменяет динамику речного стока и русла, а также физическое качество воды, что приводит к экологическому ущербу речным экосистемам [5].

Мутность или сток взвешенных наносов рек — один из определяющих факторов русловых процессов. Режим мутности воды формируется не только под воздействием естественных физико-географических факторов (климат, водный режим, расчлененность рельефа, геологическое строение, гидрогеологические и геокриологические условия, почвенный и растительный покров), но и под влиянием антропогенной деятельности [12, 13]. Воздействие добычи россыпных месторождений золота на реки выражается тем, что, во-первых, идет глубокая механическая переработка аллювиальных пойменных и русловых отложений с использованием тяжелой землеройной техники, драг, приводящая к существенному изменению ландшафта и ре-

жиму стока взвешенных и влекомых наносов, во-вторых, идет неизбежное загрязнение рек [14, 15]. Сток наносов оказывает значительное влияние на водные экосистемы, как на суше, так и в приустьевых участках морей [5].

Материалы и методы

Район исследуется авторами с 2021 г., проводилась оценка естественного восстановления растительности на отвалах [4], перспективы освоения техногенного сырья, содержания химических элементов в почвогрунтах и воде. В 2024—2025 гг. продолжились работы по изучению влияния золотодобычи в районе месторождений Благодатненского рудно-россыпного узла (рис. 1) (р. Щедринка-3, Пионерка, кл. Комсомольский, Нежданный) на компоненты окружающей среды.

Реки Большая Уссурка (Б. Уссурка) с водосбором 29 500 км^2, среднемноголетним расходом 283 м^3/с и Бикин обеспечивают 2/3 водного стока р. Уссури, их водный режим имеет особенности: зимняя межень, невысокое половодье, летние дождевые паводки. Большая часть водосбора р. Б. Уссурка покрыта тайгой. Залесенность бассейна р. Б. Уссурка составляет >90% [17].

В зоне расположения осваиваемого месторождения россыпного золота, сточные воды которого попадают в р. Пионерка и далее в р. Б. Уссурка, отобраны пробы речной воды для анализа показателей мутности. Точки отбора проб выбраны с учетом их доступности, репрезентативности и близости к местам добычи золота. Образцы воды, предназначенные для анализа, были тщательно маркированы, хранились в прохладном,

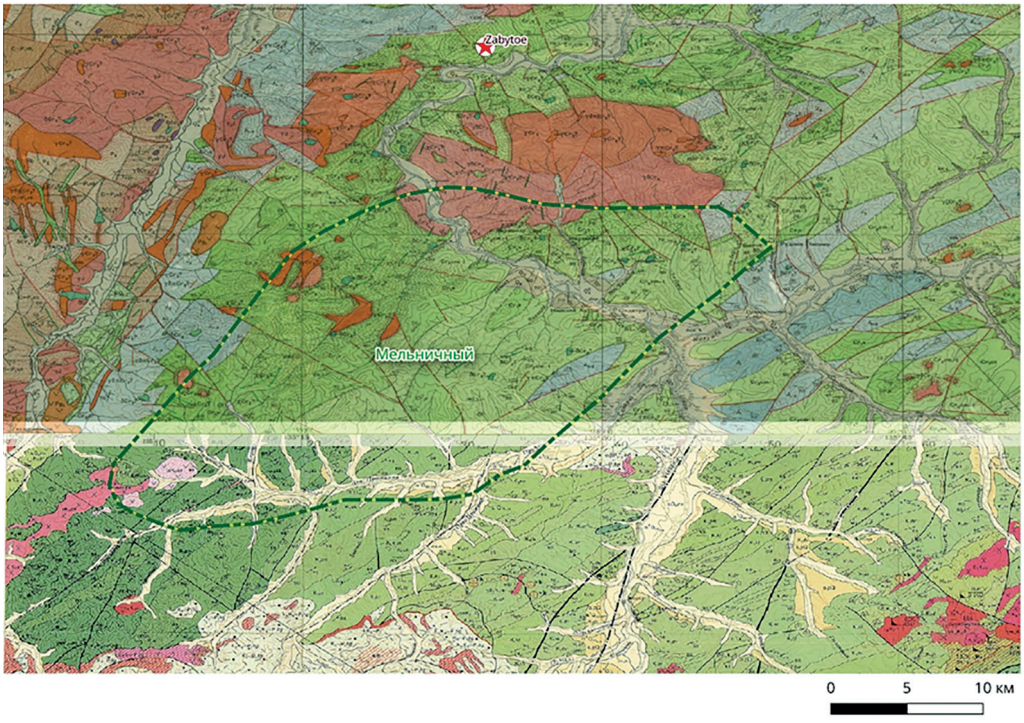


Рис. 1. Расположение Благодатненского рудно-россыпного узла
Fig. 1. Location of the Blagodatnensky ore-placer complex

защищенном от солнечного света месте и были немедленно транспортированы в аккредитованную лабораторию для проведения анализа. Анализ проводился в соответствии с ГОСТ Р 57164-2016.

Методика исследования заключается в разработке моделей, основанных на статистическом анализе зависимостей данных натурных измерений и спектральных характеристик многоканальных спутниковых изображений Landsat-8, с последующим распространением полученных алгоритмов на весь водоем. В качестве спутниковых данных выбраны снимки Sentinel-2, так как их разрешение до 10 м позволяет детально изучать малые реки и прилегающие территории [4]. В отличие от данных Landsat-8 с разрешением 30 м, Sentinel-2 обеспечивает необходимую детализацию для анализа узких водотоков, что делает его оптимальным инструментом для исследования мелкомасштабных объектов.

Опираясь на данную методику, авторы предложили схожий алгоритм [10], использующий аналогичные подходы к построению прогнозных моделей мутности воды. Алгоритм, в котором использованы значения спутниковых каналов b_i (b_1, b_2, b_3, b_4), апробирован на территории реки Колумбе и Уссурки:

$$\frac{b_3}{b_2 + b_3 + b_4}. \qquad (1)$$

Формулу (1) использовать для данного исследования не удалось, так как корреляция между значениями мутности, рассчитанной по предложенной формуле, и наблюдаемым значением в этой точке была ниже 0,3. В связи с этим нами разработан алгоритм для получения формулы расчета мутности, по которой была бы установлена значимая корреляция с наблюдаемыми значениями мутности. Выбрана формула, обеспечивающая сильную корреляцию, равную k = 0,938 (больше 0,75):

$$\text{мутность} = \left(\frac{b_3}{b_1}\right) / \left(\frac{b_1}{b_4}\right) \qquad (2)$$

По данным наблюдаемой мутности (y) и рассчитанной по значениям каналов сенсоров Landsat-8 (x) построено линейное регрессионное уравнение вида $y = a + bx$:

$$\text{мутность} = -0{,}311 + 3{,}304x, \qquad (3)$$

где x — значение показателей каналов, рассчитанное по формуле (2); y — значение показателя мутности, рассчитанное по формуле (3).

Регрессионный анализ использовался с целью установления зависимости между индексом, рассчитанным по показателям b_i спутниковых каналов, и показателем мутности в указанной точке реки.

Адекватность подобранной модели оценивалась на основе коэффициента детерминации. Наибольший коэффициент детерминации оказался у модели (формула (2)), уравнение регрессии которой задается формулой (3) (R_2 = 88,8%). Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивалась по t-критерию Стьюдента, так как P-value <0,005, коэффициенты регрессии значимы, стандартная ошибка равна 3,37.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученных результатов четко показывает стремительный рост показателя в месте слияния рек Пионерка и Большая Уссурка (т. 13, величина растет в 4 раза, далее происходит постепенное перемешивание вод и снижение мутности. Однако к значению, равному точке 14 (фон), заложенной выше места слияния рек, показатель приближается лишь в точке 7 (рис. 2). Расстояние между точками более 12 км (см. рис. 3).

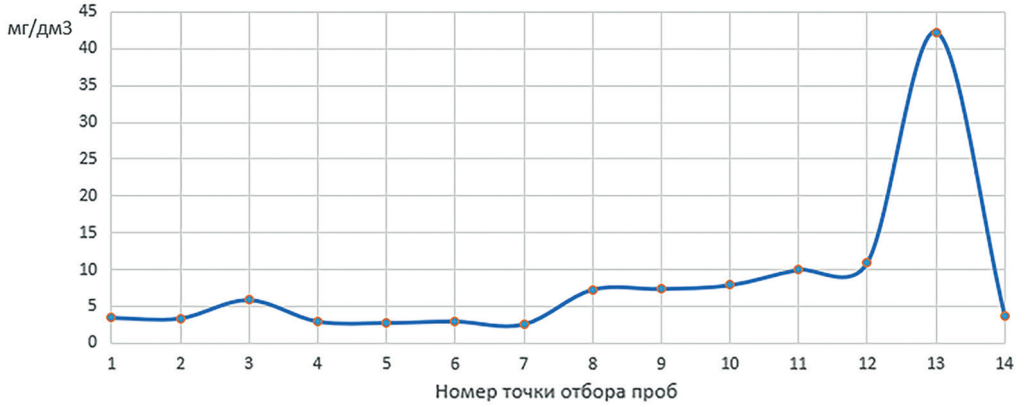
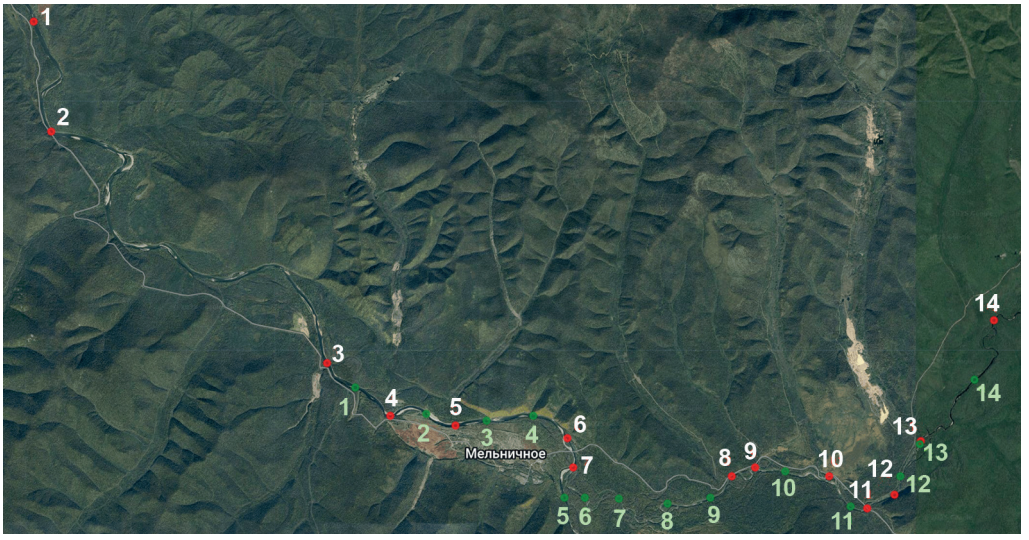


Рис. 2. Динамика мутности речной воды, мг/л (реки Колумбе, Пионерка, Большая Уссурка)
Fig. 2. Dynamics of river water turbidity, mg/l (Kolumbe River, Pionerka River, Bolshaya Ussurka River)

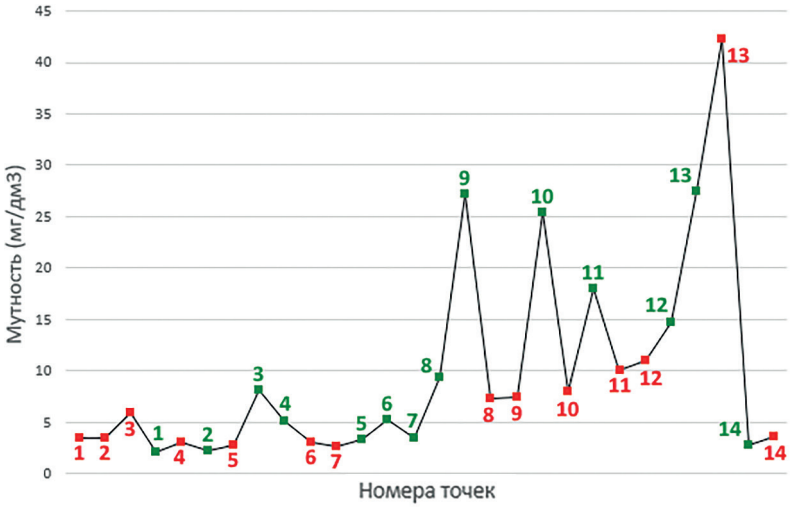
На этом участке в реку Большая Уссурка впадают реки Первая, Вторая, Третья Щедринка, что оказывает существенное влияние на интенсификацию процессов снижения мутности воды [3].

Характеристика мутности обусловлена присутствием в воде тонкодисперсных загрязнителей. Примеси могут быть в нерастворимой или в коллоидной форме, а по происхождению — органическими и неорганическими. При лабораторных исследованиях качество воды описывают, обращая внимание на следующие визуальные данные: слабая или заметная опалесценция; слабая, заметная или сильная муть. Мутность питьевой воды не должна превышать 1,5 мг/л по каолину, то есть должна быть не выше мутности стандартного образца с указанной концентрацией примеси.



● – точки отбора проб на мутность; ● – точки, в которых мутность рассчитана по уравнению регрессии

Рис. 3. Карта-схема расположения исследуемых точек
Fig. 3. Map-scheme of the location of the studied points



■ – *точки отбора проб на мутность;* ■ – *точки, в которых мутность рассчитана по уравнению регрессии*

Рис. 4. Динамика показателя мутности
Fig. 4. Dynamics of turbidity index

Исследователи [17] проводили отбор проб воды рек Бикин и Большая Уссурка в период летнего паводка, однако даже в этих условиях содержание взвеси составляло 30 — 32 мг/л при пониженной концентрации макро-ионов и биогенных элементов (N, P, Si), но при повышенном содержании растворенного органического углерода, особенно в р. Бикин. Однако пробоотбор, проведенный нами был вне паводкового сезона и даже при этом максимальная величина показателя была выше 100 мг/л.

Не всегда есть возможность дать качественную оценку состояния природных объектов в полевых условиях, особенно в регионе, где основные запасы минерального сырья сосредоточены в отдаленных районах со слабо развитой транспортной инфраструктурой. В этом случае рационально применение дистанционных методов мониторинга, использование которых позволяет анализировать не только архивные данные, но и проводить экспрессную оценку исследуемых показателей в настоящий момент времени. Для точек, которые мы не смогли охватить во время полевых работ разработана методика для оценки показателей мутности рек Колумбе и Уссурка вблизи поселка Мельничное. Алгоритм позволяет выявить оптимальную формулу индекса мутности путем сравнения результатов с данными натурных измерений. Также проведено сопоставление полученной формулы с индексами, предложенными в других исследованиях. Карта-схема нанесенных дополнительных точек представлена на рис. 3.

Полученные результаты позволяют оценить точность и применимость предложенных подходов для анализа состояния водных объектов. На графике (рис. 4) показаны результаты расчета показателя мутности в точках, доступ в которые затруднен.

Расчет показателя мутности по уравнению регрессии (формула (3)), позволяет выполнить расчет показателя мутности в точках, которые недоступны для взятия проб, но имеют важное значение для оценки загрязненности реки. В результате проведенных исследова-

ний получены данные об элементном составе проб речной воды и почвогрунтов, а также мутности воды в заложенных точках. Проведенный анализ проб с помощью рентгено-флюоресцентного метода показал, что в пробах воды в значительных количествах содержится Cl, K, Fe, Sb, W, в пробах почвогрунтов выявлено превышение содержания Cl, K, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Ba.

Исследования, проведенные коллегами ранее в других районах россыпной золотодобычи [18—20], также указывают на содержание железа, марганца, меди, алюминия, ванадия, молибдена, ртути и ионов аммония превышающие рыбо-хозяйственные нормативы в значительной части проб поверхностных вод [19]. На данном этапе исследования значимой зависимости между содержанием химических элементов в пробах и показателем мутности не выявлено.

Выводы

Для Дальневосточного региона, вследствие его отдаленности, обширности территории и неразвитости инфраструктуры особую актуальность приобретает необходимость и возможность использования результатов дистанционного зондирование Земли для выявления и оценки техногенного воздействия на компоненты окружающей среды.

В результате проведенного исследования 47% проб воды имели мутность выше среднего значения по району.

Установлено, что золотодобыча в бассейне р. Большая Уссурка оказывает значительное влияние на показатели качества речной воды. Нормализация показателя происходит за счет разбавления водами впадающих рек. Для снижения мутности необходим комплекс мероприятий, направленных на очистку воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев Е. И.*, *Молчанов В. П.*, *Хомич В. Г.* Палладийсодержащее золото, микросферулы магнетита и шорломита россыпей Благодатненского узла (Приморье) и возможные их источники // Тихоокеанская геология. — 2006. — Т. 25. — № 4. — С. 92—96.

2. *Молчанов В. П.*, *Хомич В. Г.*, *Медведев Е. И.* Индикаторное значение Pd-содержащего золота из россыпей Благодатненского узла (Приморье) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. — 2004. — № 3. — С. 36—38.

3. *Неволин П. Л.*, *Митрохин А. Н.*, *Уткин В. П.* Сихотэ-Алинская складчатая система: общие особенности строения и некоторые аспекты контроля золотого оруденения (на примере Центрального Сихотэ-Алиня) (часть вторая) // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. — 2018. — № 3(39). — С. 74—89. DOI: 10.31431/1816-5524-2018-3-39-74-89.

4. *Озарян Ю. А.* Дистанционное зондирование восстановления растительности в горнодобывающих районах юга Дальнего Востока // Горный журнал. — 2024. — № 6. — С. 105—109. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.17.

5. *Masocha M.*, *Dube T.*, *Mambwe M.*, *Mushore T. D.* Predicting pollutant concentrations in rivers exposed to alluvial gold mining in Mazowe Catchment, Zimbabwe // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2019, vol. 112, pp. 210—215.

6. *Ayiwouo M. N.*, *Yamgouot F. N.*, *Mambou L. L. N.*, *Kingni S. T.*, *Ngounouno I.* Impact of gold mining on the water quality of the Lom River, Gankombol, Cameroon // Heliyon. 2022, vol. 8, no. 12.

7. *Boussouga Y. A.*, *Sacher F.*, *Schäfer A. I.* Water quality of the Gambia River: A prospective drinking water supply // Science of the Total Environment. 2023, vol. 878, article 162794. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162794.

8. *Eniowo O. D.* When closure fails: Uncovering the environmental impact of gold rewashing on abandoned mine sites in Southwestern Nigeria // World Development Perspectives. 2025, vol. 38, article 100682. DOI: 10.1016/j.wdp.2025.100682.

9. *Таскаева А. И.*, *Пакусина А. П.* Изменение качества воды при добыче золота в малых реках / Экология речных бассейнов: Труды 11-й Международной научно-практической конференции. — Владимир, 2023. — С. 657.

10. *Тихомиров О. А.*, *Бочаров А. В.*, *Комиссаров А. Б.*, *Хижняк С. Д.*, *Пахомов П. М.* Использование данных сенсора Landsat 8 (OLI) для оценки показателей мутности, цветности и содержания хлорофилла в воде Иваньковского водохранилища // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. — 2016. — № 2. — С. 230—244.

11. *Иннокентьев А. И.*, *Школьный Д. И.*, *Прокопьева К. Н.* Оценка влияния разработок полезных ископаемых на мутность воды по спутниковым данным / Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». — М.: ИКИ РАН, 2024. — С. 382. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

12. *Янин Е. П.* Экологические последствия разработки россыпных месторождений. Обзор // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — 2019. — № 7. — С. 10—54.

13. *Пакусина А. П.*, *Таскаева А. И.*, *Гуленова Т. В.* Химико-экологическая характеристика малых рек и водно-болотных угодий Амурской области / Изучение водных и наземных экосистем: история и современность. Тезисы докладов 3-й Международной научно-практической конференции. — Севастополь, 2024. — С. 223—224.

14. *Ушаков М. В.* Расчет кривых спада дождевых паводков для управления гидроэкологической ситуацией на реках Северного Приохотоморья // Географическая среда и живые системы. — 2020. — № 1. — С. 126—133.

15. *Новиков Ю. В.*, *Сайфутдинов М. М.* Вода и жизнь на Земле. — М.: Наука, 1981. — 184 с.

16. *Ушаков М. В.* Режим увлажнения в бассейне Колымы в условиях климатических изменений // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). — 2023. — № 2 (67). — С. 170—173.

17. *Шулькин В. М.*, *Богданова Н. Н.*, *Еловский Е. В.* Влияние кольматирования фильтров на определение концентрации истинно-растворенных и коллоидных форм миграции химических элементов в речных водах // Водные ресурсы. — 2022. — Т. 49. — № 1. — С. 91.

18. *Shkolnyi D., Magritsky D., Chalov S.* Impact of open-cast placer mining on sediment transport across Far Eastern rivers of Russia // International Journal of Sediment Research. 2024, vol. 39, no. 5, pp. 702—713. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2024.03.001.

19. *Радомская В. И.*, *Радомский С. М.*, *Сегренев А. С.*, *Кулик С. Я.* Загрязнение бассейна реки Джелтулак-1 при россыпной золотодобыче (Амурская область) // Науки о Земле и недропользование. — 2021. — Т. 44. — № 4 (77). — С. 471—484.

20. *Янин Е. П.*, *Кузьмич В. Н.*, *Иваницкий О. М.* Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — 2016. — № 6. — С. 3—72. ГИАБ

REFERENCES

1. Medvedev E. I., Molchanov V. P., Khomich V. G. Palladium-containing gold, magnetite and shorlomite microspherules from placers of the Blagodatnensky cluster (Primorye) and their possible sources. *Russian Journal of Pacific geology*. 2006, vol. 25, no. 4, pp. 92—96. [In Russ].

2. Molchanov V. P., Khomich V. G., Medvedev E. I. Indicator value of Pd-containing gold from placers of the Blagodatnensky cluster (Primorye). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration*. 2004, no. 3, pp. 36—38. [In Russ].

3. Nevolin P. L., Mitrokhin A. N., Utkin V. P. Sikhote-Alin folded system: general structural features and some aspects of gold mineralization control (using the Central Sikhote-Alin as an example) (part two). *Bulletin of the Kamchatka regional association «Educational-scientific Center». Series: Earth Sciences*. 2018, no. 3(39), pp. 74—89. [In Russ]. DOI: 10.31431/1816-5524-2018-3-39-74-89.

4. Ozaryan Yu. A. Remote sensing of vegetation restoration in mining areas of the southern Far East. *Gornyi Zhurnal*. 2024, no. 6, pp. 105—109. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.17.

5. Masocha M., Dube T., Mambwe M., Mushore T. D. Predicting pollutant concentrations in rivers exposed to alluvial gold mining in Mazowe Catchment, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2019, vol. 112, pp. 210—215.

6. Ayiwouo M. N., Yamgouot F. N., Mambou L. L. N., Kingni S. T., Ngounouno I. Impact of gold mining on the water quality of the Lom River, Gankombol, Cameroon. *Heliyon*. 2022, vol. 8, no. 12.

7. Boussouga Y. A., Sacher F., Schäfer A. I. Water quality of the Gambia River: A prospective drinking water supply. *Science of the Total Environment*. 2023, vol. 878, article 162794. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162794.

8. Eniowo O. D. When closure fails: Uncovering the environmental impact of gold rewashing on abandoned mine sites in Southwestern Nigeria. *World Development Perspectives*. 2025, vol. 38, article 100682. DOI: 10.1016/j.wdp.2025.100682.

9. Taskaeva A. I., Pakusina A. P. Changes in water quality during gold mining in small rivers. *Ekologiya rechnykh basseynov: Trudy 11-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecology of River basins: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference], Vladimir, 2023, pp. 657. [In Russ].

10. Tikhomirov O. A. Bocharov A. V., Komissarov A. B., Khizhnyak S. D., Pakhomov, P. M. Using Landsat 8 (OLI) sensor data to assess turbidity, color, and chlorophyll content in the water of the Ivankovskoye Reservoir. *Vestnic TVGU. Series «Khimiya»*. 2016, no. 2, pp. 230—244. [In Russ].

11. Innokentyev A. I., Shkolny D. I., Prokopyeva K. N. Assessing the impact of mineral development on water turbidity based on satellite data. *Materialy 22-y Mezhdunarodnoy konferentsii «Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»* [Proceedings of the 22nd International Conference «Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space»], Moscow, 2024, p. 382. [In Russ]. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

12. Yanin E. P. Environmental consequences of placer deposit development. Review. *Problems of environment and natural resources*. 2019, no. 7, pp. 10—54. [In Russ].

13. Pakusina A. P., Taskaeva A. I., Gulenova T. V. Chemical and ecological characteristics of small rivers and wetlands of the Amur region. *Izuchenie vodnykh i nazemnykh ekosistem: istoriya i sovremennost'. Tezisy dokladov 3-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Study of aquatic and terrestrial ecosystems: history and modernity. Abstracts of the 3rd International Scientific and Practical Conference], Sevastopol, 2024, pp. 223—224. [In Russ].

14. Ushakov M. V. Calculation of rainfall flood recession curves for managing the hydroecological situation on the rivers of the Northern Sea of Okhotsk. *Geographical environment and living systems*. 2020, no. 1, pp. 126—133. [In Russ].

15. Novikov Yu. V., Sayfutdinov M. M. *Voda i zhizn' na Zemle* [Geographical environment and living systems], Moscow, Nauka, 1981, 184 p.

16. Ushakov M. V. Moisture regime in the Kolyma basin under climate change conditions. *Society. Environment. Development*. 2023, no. 2 (67), pp. 170—173. [In Russ].

17. Shulkin V. M., Bogdanova N. N., Elovsky E. V. Influence of filter colmatation on the determination of the concentration of truly dissolved and colloidal forms of migration of chemical elements in river waters. *Water resources*. 2022, vol. 49, no. 1, pp. 91. [In Russ].

18. Shkolnyi D., Magritsky D., Chalov S. Impact of open-cast placer mining on sediment transport across Far Eastern rivers of Russia. *International Journal of Sediment Research*. 2024, vol. 39, no. 5, pp. 702—713. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2024.03.001.

19. Shkolnyi D., Magritsky D., Chalov S. Impact of open-cast placer mining on sediment transport across Far Eastern rivers of Russia. *Earth science and subsoil use : Earth science and subsoil use*. 2021, vol. 44, no. 4 (77), pp. 471—484. [In Russ].

20. Yanin E. P., Kuzmich V. N., Ivanitsky O. M. Regional natural heterogeneity of the chemical composition of surface waters on land and the need to take it into account when assessing their ecological state and the intensity of technogenic impact. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov*. 2016, no. 6, pp. 3—72. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Озарян Юлия Александровна — канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник, Институт горного дела
Дальневосточного отделения РАН (ИГД ДВО РАН),
e-mail: ozaryanigd@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-8892-4595,
Кожевникова Татьяна Владимировна[1] — научный сотрудник,
e-mail: ktvsl@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2660-3104,
Окладников Владимир Евгеньевич[1] — инженер,
e-mail: okladnikov03@mail.ru,
[1] Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН (ВЦ ДВО РАН).
Для контактов: Озарян Ю.А., e-mail: ozaryanigd@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.A. Ozaryan, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher,
Institute of Mining of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences (IGD FEB RAS),
680000, Khabarovsk, Russia, e-mail: ozaryanigd@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-8892-4595,
T.A. Kozhevnikova[1], Researcher, e-mail: ktvsl@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2660-3104,
V.E. Okladnikov[1], Engineer, e-mail: okladnikov03@mail.ru,
[1] Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
(CC FEB RAS), 680000, Khabarovsk, Russia.
Corresponding author: Yu.A. Ozaryan, e-mail: ozaryanigd@gmail.com.

Получена редакцией 15.07.2025; получена после рецензии 25.08.2025; принята к печати 10.11.2025.
Received by the editors 15.07.2025; received after the review 25.08.2025; accepted for printing 10.11.2025.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БУТОБЕТОННОЙ ЗАКЛАДКИ

(2025, № 9, СВ 14, 20 с.)

Кудря Александра Одиссеевна — аспирант, e-mail: alexandra.ku@bk.ru, ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала.

Актуальность применения бутобетонной закладки для искусственного поддержания выработанного пространства обусловлена возможностью повышения полноты извлечения запасов, вовлечением пустой породы, снижением разубоживания руды и улучшением безопасности ведения горных работ. При подземной разработке месторождений возможно возведение бутобетонных целиков для создания искусственных опор, обладающих несущей способностью. Целью лабораторных исследований является формирование различных составов бутобетона, определение их прочностных свойств при испытаниях на одноосное сжатие, а также выявление закономерностей изменения свойств в зависимости от состава смеси. По результатам экспериментов установлены зависимости предела прочности бутобетонной закладки от комплексного взаимодействия пяти факторов: размера фракции твердого заполнителя, крепости породы, процентного содержания цемента, водоцементного соотношения и длительности периода твердения. Полученные в процессе исследований закономерности позволили сформировать обоснованные рекомендации по подбору оптимальных составов смесей бутобетонной закладки.

Ключевые слова: бутобетонная закладка, пустая порода, крепость, фракция заполнителя, портландцемент, водоцементное соотношение, лабораторные исследования, прочность на одноосное сжатие, модуль деформации.

INVESTIGATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF A ROCK-CONCRETE BACKFILL

A.O. Kudrya, Graduate Student, e-mail: alexandra.ku@bk.ru,
N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia.

The relevance of using cemented rockfill for artificial support of mined-out spaces is due to the possibility of increasing the completeness of reserve extraction, involving waste rock, reducing ore dilution, and improving the safety of mining operations. In underground mining, rubble concrete pillars can be erected to create artificial supports with load-bearing capacity. The aim of laboratory research is to develop various cemented rockfill compositions, determine their strength properties in uniaxial compression tests, and identify patterns of property changes depending on the composition of the mixture. The results of the experiments established the dependence of the strength limit of cemented rockfill on the complex interaction of five factors: the size of the solid aggregate fraction, rock strength, cement content, water-cement ratio, and hardening period duration. The patterns identified during the research enable the formulation of sound recommendations for selecting the optimal compositions of rubble concrete mixes.

Key words: cemented rockfill, waste rock, strength, aggregate fraction, Portland cement, water-cement ratio, laboratory compressive strength tests, uniaxial compressive strength.