

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ НА ДЕЗИНТЕГРАЦИЮ ВЫСОКОГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Хрунина Н.П., Чебан А.Ю.

Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Хабаровск, Россия

**Аннотация.** Рассмотрены результаты исследования песков высокоглинистого россыпного месторождения благородных металлов руч. Поспелиха Приморского края. Установлено, что пески исследуемой золотоносной россыпи являются достаточно сложным объектом для дезинтеграции из-за оксидов железа и глинистых минералов монтмориллонитовой группы. Экспериментально-аналитическим путем определен характер изменения упругих характеристик исследуемых песков при водонасыщении. Получены данные о влиянии водонасыщения на трудно-промывистые глинистые пески для обеспечения последующей дезинтеграции. Предложена оценка влияния водонасыщения при разработке высокоглинистых песков на основе расчета динамики изменения упругих характеристик. Рассматривается способ управления подготовкой к дезинтеграции песков с учетом предлагаемой динамической характеристики песков при водонасыщении. Отмечается, что исследования в данном направлении, в том числе экспериментальные и аналитические, требуют дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** водонасыщение, элементный состав, фазовый анализ, волновое сопротивление, дезинтеграция, скорость ультразвука, модуль продольного растяжения, динамика изменения упругой характеристики.

## Введение

Одной из наиболее сложных задач при освоении россыпей различных типов является извлечение мелкого и тонкого золота, которого, по оценке специалистов, в процессе эксплуатации теряется до 70–80%. Потери золота обусловлены рядом факторов: крупностью и формой золотин; повышенным содержанием мелких и тонких фракций; характеристикой вмещающих пород, величиной глинистой составляющей; режимом работы промывочных агрегатов и др. Новые знания о трансформации физико-химических свойств ценных компонентов, их морфологических характеристиках, позволили научно обосновать последствия этих процессов для возобновления ресурсного потенциала россыпных месторождений. Выявлено влияние безнапорных водных потоков, частотных колебаний массива техногенных аллювиальных пород природного или антропогенного характера на вещественный и фазовый состав, криогенные и суффозионные процессы, параметры миграции и концентрации золота в отвалах техногенных россыпных образований. В процессах добычи особая роль отводится способам эффективного предварительного разрушения путем направленного изменения состояния жестких структурных связей песков. Основополагающие принципы решения этих проблем были сформули-

рованы в работах М.И. Агошкова, Н.В. Мельникова, Ф.Д. Овчаренко, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, В.А. Чантурия и других [1–11].

В работе [1] исследовано влияние криогенных и фильтрационных процессов на разрыхление горной массы и концентрацию ценных компонентов в массиве пород и установлено, что коэффициент фильтрации изменяется на несколько порядков. Из таблицы видно, что глинистые породы имеют разброс коэффициента фильтрации от двух до четырех порядков. Глина имеет коэффициент фильтрации, свидетельствующий о слабой динамике разупрочняющего процесса в естественных условиях залегания песков.

**Коэффициент фильтрации однородных материалов [1]**

Наименование материала	Коэффициент фильтрации, см/с
Песок чистый	1,0–0,01
Песок глинистый	0,01–0,005
Супесь	0,005–0,003
Суглинок карбонатный	0,001–0,0005
Глина	0,0005–0,000005

Известна минимальная размывающая скорость в зависимости от среднего диаметра частиц горной массы, параметры струи, выходящей из насадки гидромонитора, и другие параметры. В работе [1] рассмотрена теоретическая модель миграции ценных компонентов в стесненных условиях в обводненной аллювиальной среде под действием виброколебаний на основе показателя

вибрационной крупности и экспериментально исследована миграция ценных компонентов в увлажненной горной массе под действием колебательных процессов, создаваемых акустическим источником излучения с частотой 100 Гц. Однако данные исследования ограничены узкими рамками энергетического воздействия на увлажненные пески и рассмотрены в контексте возможного перемещения минеральных частиц. Не учитывались факторы структурных и физико-механических изменений, степень водонасыщения по отношению к пескам с разной пластичностью.

Качество трансформации песков в значительной степени определяется возможностью интенсификации процесса средствами, способными изменить физическое состояние и структурно-механические параметры перерабатываемых песков. В уплотненной высокоглинистой среде частицы песков и минеральных компонентов имеют достаточно прочные связи. Исследования дезинтеграции песков с повышенным содержанием глин лежат в области происходящих динамических взаимодействий между рабочим органом и породной массой. Сюда относятся разнообразные эффекты понижения прочности вследствие физико-механического влияния, состоящего в понижении удельной свободной поверхностной энергии твердого тела. Отличительная особенность этих явлений состоит в том, что они наблюдаются только в среде, находящейся в определенном напряженном состоянии. Реальные процессы всегда в той или иной мере неравновесны. Процессы дезинтеграции песков россыпей неразрывно связаны с реальной (дефектной) структурой участка массива и условиями деформации и разрушения. Большое значение имеют исходные механические свойства песков и их структура, дисперсность, наличие пористости, процессы возникновения и развития дефектов, зарождения, движения и выхода дислокаций. Характер механических деформационных воздействий влияет на скорость и степень понижения прочности или на стимуляцию пластического течения породы [12–14].

### Постановка проблемы и методы исследований

Освоение новых объектов высокоглинистых песков россыпей ДВ региона требует их детального изучения, при этом особого внимания за- служивают пески с повышенным содержанием мелкого, тонкого, пластинчатого золота и в

ростках. К процессам первичного влияния на дезинтегрируемость песков относится их водонасыщение, поэтому исследование изменения состояния золотоносных песков при водонасыщении, играющем значительную роль в разрушении структурных связей между глинистыми частицами и агрегатами при дезинтеграции и последующем выделении ценных компонентов, является особо важным. Одним из характерных месторождений, участки которого имеют высокое содержание мелких глинистых частиц в песковой фракции, является золотоносная россыпь в пойме руч. Поспелиха (Приморский край).

Цель исследований состояла в экспериментальном и аналитическом определении структурно-механических свойств, элементного состава, фазового анализа проб руч. Поспелиха. Измерения проводились на приборах и оборудовании Центра коллективного пользования ИГД ДВО РАН, Института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН и Испытательного центра ДВГУПС. Экспериментальным путем определялась плотность, влажность, скорость ультразвука в образцах. Спектрометрический анализ выполнен на рентгенофлюоресцентном спектрометре Mobilab X-50. Фазовый анализ проб изучался с помощью дифрактометра ДРОН-7 с напряжением трубки 40 кВ, током накала 20  $\mu$ А и шагом сканирования по углу 2Theta 0,05 град. Для идентификации линий рентгеновских спектров использовался программный пакет PDWin (НПП «Буревестник»). Для определения упругих характеристик песков с помощью прибора «Пульсар – 1.1» измерялась скорость продольных волн в образцах с естественной влажностью. Рабочая частота составляла 60 кГц. Эксперимент проводился при средней температуре воздуха 21,4°C и относительной влажности 69% (протокол контрольных испытаний № 89/14 от 06.06.2014 г.).

### Результаты исследования и их обсуждение

В пробах исследуемого месторождения руч. Поспелиха установлено содержание нонtronита (nontronite), который относится к минералам группы монтмориллонита – вермикулита. Монтмориллониты относятся к трудноразрушимым. Спектроскопия показала преобладание по массе соединений Fe, а также содержание K, Ca, Ti, Ba, Zr, Cr, Sr, Cu, Zn, Rb, W и других соединений. На **рис. 1** представлена спектрограмма одного из образцов месторождения руч. Поспелиха.

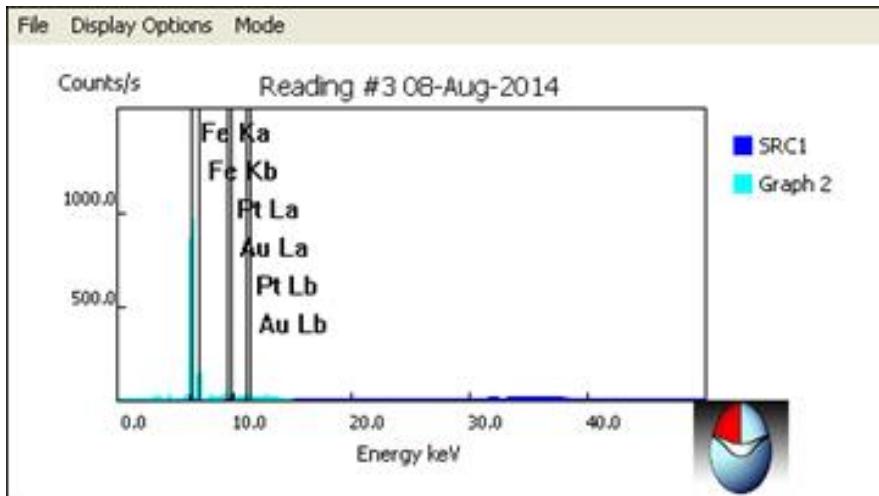


Рис. 1. Спектрограмма образца 1.1.1 месторождения руч. Поспелиха

Присутствие глинистых минералов, которые образуют трудноразрушающие структурные связи, а также выявленное преобладание в пробах соединений железа Fe, предопределяет усложнение процесса глубокой дезинтеграции песков для извлечения мелкого и тонкого золота.

Установление экспериментальным путем значений плотности, естественной влажности, скорости прохождения ультразвукового импульса в продольной волне в образцах двух участков месторождения руч. Поспелиха позволило расчетным путем определить эффективную сжимаемость твердого (скелета вещества), равновесную эквивалентную плотность  $\rho$  при водонасыщении до 30% и скорость продольных ультразвуковых волн  $V$  при равновесной эквивалентной плотности, прочностные свойства песков: модуль сдвига  $\mu$  (вторая компонента Ламе), модуль продольного растяжения  $E$  (модуль Юнга), как при естественной влажности, так и при влажности по массе, равной 30%. Скорость продольных ультразвуковых волн  $V$  в водонасыщенных песках определялась из выражения [5]

$$V = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot \beta}},$$

где  $\rho$  – равновесная эквивалентная плотность при водонасыщении до 30%, определенная расчетным путем,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\beta$  – эффективная сжимаемость водонасыщенных песков с учетом сжимаемости твердого и жидкой составляющей,  $(\text{м} \cdot \text{с}^2)/\text{кг}$ .

Модуль сдвига  $\mu$  и первая компонента Ламе  $\lambda$  для песков с естественной влажностью и водонасыщенных песков (до 30%) определялись по формулам [5]:

$$\mu = \rho \cdot V_1^2,$$

$$\lambda = \rho (V^2 - 2V_1^2),$$

где  $\rho$  – равновесная эквивалентная плотность песков с естественной влажностью (определенная экспериментальным путем) или водонасыщенных песков (определенная расчетным путем),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $V_1$  – расчетная скорость поперечных волн в зависимости от водосодержания,

$$V_1 = \frac{V}{\sqrt{3}},$$

где  $V$  – измеренная экспериментальным путем скорость продольных волн в образце с естественной влажностью или водонасыщенных песков, полученная расчетным путем,  $\text{м}/\text{с}$ .

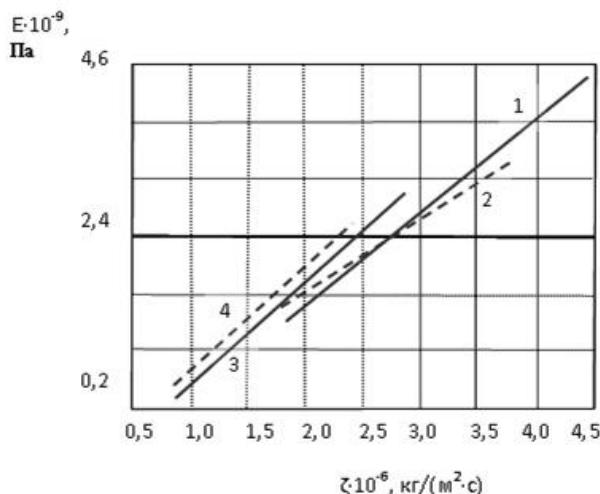
$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}.$$

Модуль продольного растяжения  $E$  определен по формуле [5]

На рис. 2 показаны зависимости модуля Юнга  $E$  от равновесного значения волнового сопротивления  $\zeta = \rho \cdot V$  песков при изменении водосодержания образцов на первом и втором участках месторождения руч. Поспелиха.

Полученные в результате экспериментальных исследований и аналитических расчетов данные показали, что пески на исследуемых участках месторождения руч. Поспелиха обладают заметно отличающимися упругими свойствами. По результатам измерений и расчетов природных образцов первого участка месторождения

дения руч. Поспелиха модуль Юнга изменялся от  $1,287 \cdot 10^9$  до  $4,459 \cdot 10^9$  Па, что составляет разницу в 3,5 раза. Разница в изменении модуля Юнга природных образцов второго участка от  $0,263 \cdot 10^9$  до  $2,949 \cdot 10^9$  Па составляет 11,2 раз. Максимальная разница модуля Юнга Е неводонасыщенных образцов обоих участков месторождения составляет 16,9 раз. Разброс значительный. При водонасыщении образцов первого участка месторождения руч. Поспелиха модуль Юнга изменялся от  $1,46 \cdot 10^9$  до  $3,16 \cdot 10^9$  Па, что составляет разницу в 2,1 раза. Разница в изменении модуля Юнга при водонасыщении природных образцов второго участка от  $0,38 \cdot 10^9$  до  $2,46 \cdot 10^9$  Па составила 6,5 раза. Максимальная разница между упругими характеристиками Е водонасыщенных образцов обоих участков месторождения также составляет значительную величину – 8,3 раза. Такой разброс данных не позволяет получить однозначную характеристику интенсивности протекания процесса. Для более точной оценки процесса возникла идея рассчитать динамику изменения упругих характеристик при водонасыщении. Это позволило концептуально обозначить способ управления процессом подготовки к обогащению высокоглинистых песков россыпей с учетом равномерного и оптимального водонасыщения [15].



**Рис. 2. Зависимости модуля упругости Е от равновесного значения волнового сопротивления ζ песков месторождения руч. Поспелиха: 1, 3 – при начальной влажности песков от 3,2 до 4,5% на первом участке (1) и от 2,1 до 4,6% на втором участке (3); 2, 4 – при 30% содержании воды в песках на первом участке (2) и на втором участке (4)**

В способе [15], созданном в ИГД ДВО РАН, предлагается перед нарезанием щелей при помощи поперечных или продольных проходов щелерезной установкой, а также затоплением добычного блока водой для дезинтеграции глинистых песков и их последующей отработки, экспериментально-аналитическим путем определить упругие характеристики высокоглинистых песков на сжатие или растяжение на различных участках россыпи. Установить динамику изменения упругих характеристик на этих участках по формуле

$$G = (E^* - E^{**})/B,$$

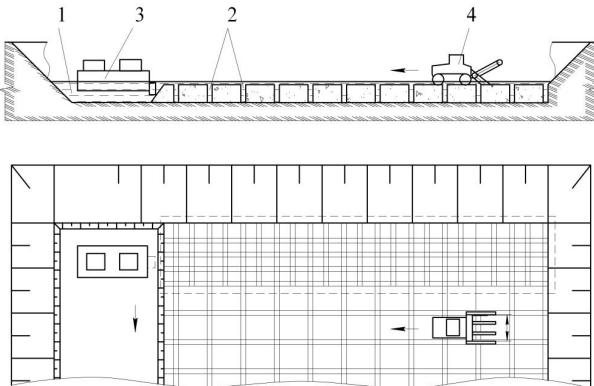
где  $E^*$  – упругая характеристика песков при начальной влажности, Па;  $E^{**}$  – упругая характеристика при повышенном среднем содержании воды в песках, Па;  $B$  – изменение водосодержания в условных единицах по отношению к процентам, т.е. 1% – это 1 единица.

Строится график зависимости динамической характеристики упругости песков  $G$  при водонасыщении на отдельных участках месторождения от относительного волнового сопротивления песков на этих участках:

$$G = f(\zeta^* / \zeta^{**}),$$

где  $\zeta^*$  – волновое сопротивление при начальной влажности песков;  $\zeta^{**}$  – волновое сопротивление при повышенном среднем содержании воды в песках.

Расчет, проведенный по максимальным значениям упругих характеристик обоих участков, показал, что для месторождения руч. Поспелиха динамика изменения данных характеристик при водонасыщении на двух участках отличается в 2,8 раза. На втором участке с самой низкой динамической характеристикой упругости песков при водонасыщении расстояние между щелями уменьшают до величины, обеспечивающей скорость фильтрации и дезинтеграции глинистых песков соразмерно участкам с максимальной динамической характеристикой упругости песков, имеющих максимальное расстояние между щелями. С учетом этого нарезание щелей осуществляют на расстоянии друг от друга в зависимости от изменения динамической характеристики упругости песков при водонасыщении (рис. 3). Для этого в автоматическом режиме осуществляют регулировку расстояния между режущими органами щелерезной установки.



**Рис. 3. Общий вид схемы разработки высокоглинистого месторождения благородных металлов: 1 – канава; 2 – щели; 3 – добывчной комплекс; 4 – щелепререзная установка**

Способ включает вскрытие отрабатываемых запасов месторождения, проходку канавы на всю длину добывчного блока, затопление добывчного блока водой для дезинтеграции глинистых песков и их последующую отработку добывчным комплексом с установкой напорного гидротранспортирования и обогатительной установкой.

Полученные расчетным путем, в ходе проведенных исследований, данные дают представления о протекании процесса в динамике, что является в большей мере определяющим при водонасыщении труднопромывистых глинистых песков. Требуют своего развития исследования взаимосвязи упругих характеристик песков с процессами разрушения и дезинтеграции для обеспечения снижения технологических потерь ценного компонента.

## Выводы

В результате экспериментальных исследований элементного состава, фазового анализа высокоглинистых песков золотоносного месторождения руч. Поспелиха установлено наличие глинистых минералов монтмориллонитовой группы, а также выявлено преобладание в пробах соединений железа Fe, которое может свидетельствовать о прочных водостойких связях. Это позволяет отнести исследуемый объект к достаточно проблематичному для дезинтеграции и извлечения мелких и тонких частиц ценных компонентов при переработке песков.

Определен расчетным путем характер влияния водонасыщения на упругие характеристики песков на основе изменения зависимостей модуля Юнга E от волнового сопротивления. Установлено, что при водонасыщении образцов первого участка и второго участка месторождения руч. Поспелиха изменения модуля E составляют в первом случае 2,1, а во втором – 6,5 раза. Выполненный расчет динамики изменения упругих характеристик высокоглинистых песков при водонасыщении, в зависимости от относительного волнового сопротивления песков

на участках исследуемого месторождения, выявил характер изменения упругости песков и позволил обосновать способ управления процессом предварительной подготовки массива к более эффективной дезинтеграции.

Следует отметить, что экспериментальные и аналитические исследования в данном направлении требуют дальнейшего развития.

## Список литературы

1. Литвинцев В.С. Обоснование параметров геотехнологии комплексного освоения техногенных месторождений Дальнего Востока: дис. ... д-ра техн. наук. Хабаровск: Институт горного дела ДВО РАН, 2000. 282 с.
2. Проблемы рационального освоения золотороссыпных месторождений Дальнего Востока (геология, добыча, переработка) / Ю.А. Мамаев, А.П. Ван-Ван-Е, А.П. Сорокин, В.С. Литвинцев, А.М. Пуляевский. Владивосток: Дальнанаука, 2002. 200 с.
3. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков. Ч. 2. Чита: ЧитГТУ, 1996. 119 с.
4. Использование мощных электромагнитных импульсов в процессах дезинтеграции и вскрытия упорного золотосодержащего сырья / В.А. Чантuria, И.Ж. Бунин, В.Д. Лунин и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2001. № 4. С. 95–105.
5. Новые аспекты научных основ ультразвуковой дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей Приамурья / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, А.М. Пуляевский, О.В. Стратечук; под ред. А.М. Пуляевского. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. 167 с. ISBN 978-5-7389-1030-2.
6. Разработка научных принципов и критериев формирования полиметальных минерально-сырьевых агломераций юга Дальнего Востока как основы прогнозирования рационального развития горнопромышленного комплекса региона. Научное обоснование рационального развития основных горнопромышленных отраслей ДВ региона: отчет о НИР (заключ.) / ИГД ДВО РАН. Хабаровск, 2006. 340 с. ГР № 01.2.00108183.
7. Развитие научных основ и способов геотехнологии освоения рудных, россыпных и угольных месторождений. Разд. 2: Развитие теории и технологий эффективного и экологически безопасного освоения техногенных россыпных месторождений цветных и благородных металлов: отчет о НИР / ИГД ДВО РАН. Хабаровск, 2008. ГР № 01.02.006 13509. Изв. № 02.2.00 950967.
8. Машинский Э.И. Экспериментальные соотношения напряжение-деформация и амплитудная зависимость скоростей волн в осадочных породах // ФТПРПИ. 2003. № 1. С. 10–17.
9. Миренков В.Е. Контактные задачи в механике горных пород // ФТПРПИ. 2007. № 4. С. 36–48.
10. Миренков В. Е. О возможности разрушения подработанных пород в массиве // ФТПРПИ. 2009. № 2. С. 10–17.
11. Миронов, В.А., Софьян О.Е. Основные уравнения прочности и деформируемости дисперсных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. Тематическое приложение: Дальний Восток. С. 64–72.
12. Khrunina N.P., Korneeva S.I. Improving mining methods of high-clay deposits of precious metals // Eurasian mining. 2014. №1. Р. 15–17.
13. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
14. Мязин В.П. Физико-химические методы интенсификации процессов первичной добычи и переработки глинистых золотосодержащих песков: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Мязин. М.: МГРИ, 1987. 28 с.
15. Пат. 2537460 РФ, МПК E21C41/30, E21C45/00. Способ разработки глинистых месторождений полезных ископаемых / Хрунина Н.П., Чебан А.Ю. № 2013147614; заявл. 24.10.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. №1.

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## ASSESSMENT OF THE EFFECT OF WATER SATURATION ON DISINTEGRATION OF SANDS WITH HIGH CLAY CONTENT WHEN MINING PRECIOUS METAL PLACERS

**Khrunina Natalia Petrovna** – Senior researcher, Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences (DVO RAN IGD), Khabarovsk, Russia. Phone: +7 (4212)- 32-79-27. E-mail: npetx@mail.ru.

**Cheban Anton Yurievich** – Senior researcher, Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences (DVO RAN IGD), Khabarovsk, Russia. Phone: +7 (4212)- 32-79-27. E-mail: chebanay@mail.ru.

**Abstract.** The article deals with the results of exploration of precious metal placer sands with high clay content in Pospelikh settlement, Primorsky Krai. Sands of the gold placers under study have proved to be difficult to disintegrate because of iron oxides and clay minerals of a montmorillonite group. The behaviour of elastic characteristics of the sands under water saturation conditions has been determined with the help of experimental analysis. The article presents data on the water saturation effect on difficult-to-wash clay sands to ensure further desintegration. The authors propose an assessment of the water-saturation effect at high-clay sands mining based on the elasticity dynamics calculation. The article considers a method of the sand-desintegration preparation control allowing for the proposed dynamic sand characteristics under water saturation conditions. The authors note that exploration of this area of focus, including pilot and analytical studies, requires further development.

**Keywords:** Water saturation, elemental composition, phase analysis, wave impedance, disintegration, ultrasound speed, longitudinal tensile module, elasticity dynamics.

### References

1. Litvintsev V.S. *Obosnovanie parametrov geotekhnologii kompleksnogo osvoeniya tekhnogennykh mestorozhdenij Dal'nego Vostoka: dissertatsiya doktora tekhnicheskikh nauk* [Justification of geotechnology parameters of a comprehensive development of technogenic deposits in the Far East. D.Sc. dissertation]. Khabarovsk: Mining Institute, FEB RAS, 2000, 282 p.
2. Mamaev Yu.A., Van-Van-E A.P., Sorokin A.P., Litvintsev V.S., Pulyevsky A.M. *Problemy ratsional'nogo osvoeniya zolotorossyppnykh mestorozhdenij Dal'nego Vostoka (geologiya, dobycha, pererabotka)* [Issues of sustainable development of gold placers in the Far East (Geology, mining, processing)]. Vladivostok: Dalnauka, 2002, 200 p.
3. Myazin V.P. *Povyshenie effektivnosti pererabotki glinistykh zolotosoderzhashchikh peskov. Chast' 2* [Improving the efficiency of clay gold-bearing sands processing. Part 2]. Chita: ChitGTU, 1996, 119 p.
4. Chanturia V.A., Bunin I.Zh., Lunin V.D. and others. Use of powerful electromagnetic pulses in disintegration processes and stripping of hard gold raw materials. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical issues of mineral resources development]. 2001, no 4, pp. 95–105.
5. Chrunina N.P., Mamaev Y.A., Pulyevsky A.M., Stratechuk O.V.; Edited by A.M. Pulyevsky. *Novye aspekty nauchnykh osnov ultrazvukovoj dezintegratsii vysokoglinistykh zolotosoderzhashchikh peskov rossyapej Priamurya* [New aspects of the scientific basics of ultrasonic disintegration of the Amur high-clay gold placer sands]. Khabarovsk: Publishing House Pacific. Gos. Un-ty, 2011. 164 p. ISBN 978-5-7389-1030-2.
6. Development of scientific principles and criteria of polymetal mineral agglomeration formation in the Southern Far East as a basis for forecasting the rational development of the regional mining complex. Scientific justification of the rational development of the main Far-Eastern mining industries: research report (concl.) / The Mining Institute of the Far-Eastern Department of the Russian Academy of Sciences. Khabarovsk, 2006, 340 p. No. 01.2.00108183.
7. Development of scientific basics and methods of the geotechnology of ore, gravel and coal deposits development. Section 2: Development of a theory and technologies of efficient and environment-friendly development of man-made non-ferrous and precious metal placer deposits: research report / The Mining Institute of the Far-Eastern Department of the Russian Academy of Sciences. Khabarovsk. 2008, no. 01.02.006 13509. Inv. No. 02.2.00 950967.
8. Mashinskij E.I. Experimental stress-strain relations and amplitude dependence of wave velocities in sedimentary rocks. *Physical and technical issues of minerals development*, 2003, no. 1, pp. 10-17.
9. Mirenkov V.E. Contact problems in rock mechanics. *Physical and technical issues of minerals development*, 2007, no. 4. pp. 36-48.
10. Mirenkov V.E. On the possibility of destruction of underworked rocks in massifs. *Physical and technical issues of minerals development*, 2009, no. 2. pp. 10-17.
11. Mironov V.A., Sofin O.E. Basic equations of strength and deformability of dispersed rocks. *Gornij informatsionno-analiticheskij byulleten'* [Mining information-analytical bulletin]. 2005. Topical application: Far East. pp. 64-72.
12. Khrunina N.P., Korneeva S.I. Improving mining methods of high-clay deposits of precious metals. *Evrazijskij dobycha* [Eurasian mining]. 2014, no. 1, pp. 15-17.
13. Levich V.G. *Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika* [Physical and chemical hydrodynamics]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1952.
14. Myazin V.P. Physical and chemical stimulation methods of primary clay gold-bearing sands mining and processing: D.Sc. in Engineering, V.P. Myazin's extended abstract of a dissertation. Moscow: Moscow Exploration Institute, 1987, 28 p.
15. Khrunina N.P., Cheban A.Yu. Development of clay minerals deposits. Patent RF, no. 2537460, 2015.

Хрунина Н.П., Чебан А.Ю. Оценка влияния водонасыщения на дезинтеграцию высокоглинистых песков при разработке россыпей благородных металлов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 50–55.

Khrunina N.P., Cheban A.Yu. Assessment of the effect of water saturation on disintegration of sands with high clay content when mining precious metal placers. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 50–55.