

УДК 551:553.3

## ВЫДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «НЕЖДАНИНСКОЕ»

Фёдоров Андрей Андреевич<sup>1</sup>,

aan.fedorov@s-vfu.ru

Сясько Андрей Александрович<sup>1</sup>,

aa.siasko@s-vfu.ru

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
Россия, 678960, г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью выделения опасных геологических процессов при планировании объектов производственного назначения (золотоизвлекательная фабрика и хвостохранилище) месторождения Нежданинское.

**Цель работы:** составление карты потенциально опасных геологических процессов.

**Методы исследования:** методы регистрации микросейсм и сейсмических жесткостей для сейсмического микрорайонирования площадки. Инструментальными и расчетными методами определена степень сейсмической опасности, получен полный набор характеристик, необходимых для планирования сооружений. Выделение разрывных нарушений проведено методом дипольного осевого зондирования и корреляционным методом преломленных волн. Данными методами выделены разрывные нарушения: в зоне предполагаемых разрывных нарушений скорость распространения упругих волн стремится к нулю и нарушается корреляция изолиний сопротивлений. Выделение массивов погребенных льдов проведено методом дипольного зондирования и методом естественного потенциала. Выделение зон фильтрации осуществлялось методом естественного потенциала и дипольным осевым зондированием. Выделены зоны фильтрации и массивы погребенных льдов, также отмечено влияние погребенных льдов на характер естественного поля: в интервалах распространения погребенных льдов значения разности потенциалов естественного поля стремятся к минимуму.

**Заключение.** Составлена карта потенциально опасных геологических процессов, предложены альтернативные варианты хранения хвостов. Исследования показали невозможность строительства хвостохранилища наливного типа, учитывая сложное инженерно-геологическое строение района, опасные геологические процессы, высокую гидродинамическую опасность, дорогостоящие мероприятия по строительству, обустройству и содержанию. Как альтернативный вариант предлагается хранение хвостов: в «сухом виде» на полигоне без организации хвостохранилища либо в сгущенном «пастообразном состоянии» с сохранением замороженного состояния основного массива отходов и грунтов основания.

### Ключевые слова:

Месторождение «Нежданинское», сейсмическое микрорайонирование, метод регистрации микросейсм, метод сейсмических жесткостей, корреляционный метод преломленных волн, дипольное осевое зондирование, метод естественного потенциала, разрывные нарушения, зоны фильтрации, погребенные льды, опасные геологические процессы, золотоизвлекательная фабрика, хвостохранилище.

### Введение

При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений необходимо учитывать все опасные процессы и воздействия [1, 2].

Объектом исследования является площадка для размещения строений и сооружений производственного назначения (золотоизвлекательная фабрика и хвостовое хозяйство) и отвалов пустых пород, поэтому при изысканиях для строительства таких особо ответственных объектов следует учитывать опасные геологические процессы, которые создают угрозу нормальной эксплуатации инженерных сооружений. Очень важно своевременно спрогнозировать возможные эффекты от их воздействия и провести ряд защитных мер по их предотвращению [1].

Для выявления опасных геологических процессов на территории месторождения был проведен комплекс геофизических исследований, позволяющий оценить физическое состояние изучаемой среды и выделить потенциально опасные участки.

### Постановка проблемы

Территория подверглась сильному тектоническому воздействию в течение киммерийского и альпийского этапов тектогенеза, проявившемуся в виде складчатых и разрывных дислокаций литогенной основы, что привело к возникновению разноориентированных ортогональных и диагональных региональных нарушений с многократными и разнохарактерными подвижками, пространственно и генетически связанных с региональными разломами [3, 4].

В верхнем плейстоцене территория была подвержена активной ледниковой деятельности, результаты которой представлены маломощными реликтивными моренными отложениями.

Территория характеризуется наличием зон сплошной многолетней мерзлоты, мощность которой изменяется от 250–330 м на водоразделах и склонах южной экспозиции до 80–110 м в долинах ручьев и небольших рек, а в долине р. Тыры, в зоне сквозного талика, мощность слоя достигает 5–6 м («козырек»).

Аллювиальный водоносный горизонт обладает большой аккумулярующей емкостью в связи с крупнообломочным характером водовмещающих отложений. Тип питания водотоков – резко выраженный атмосферный, который обуславливает невозможность инфильтрации атмосферных осадков в многолетнемерзлые породы бортов долины, вследствие чего они мгновенно формируют поверхностный сток с незначительной задержкой на насыщение маломощного сезонно-талого слоя и мохового покрова. Наличие толщи многолетнемерзлых пород, препятствующих удалению влаги, также обуславливает заболачивание приповерхностного почвенного слоя [1, 5].

Учитывая то, что территория Нежданинского месторождения находится в области динамического влияния субдолготных Бурхалинского и Кетандинского разломов, способных генерировать 7–8-балльные сотрясения и потенциально опасный характер неблагоприятных геологических процессов, таких как разрывные нарушения, погребенные льды, фильтрационные процессы, которые могут возникнуть, учитывая характер всего вышесказанного и особую ответственность объектов производственного назначения, на месте размещения объектов был проведен комплекс геофизических исследований, увеличивающий полноту и надежность представлений об особенностях строения исследуемого объекта, сейсмической опасности и о зонах распространения неблагоприятных геологических процессов [6].

#### Методы исследования

1. Методы регистрации микросейсм и сейсмических жесткостей для сейсмического микрорайонирования площадки [7–9]

По записям микросейсм определялись приращения сейсмической активности и амплитудно-частотные характеристики грунтов.

По методу сейсмических жесткостей проводилась оценка сейсмической активности путем сравнения значений сейсмических жесткостей изучаемых и эталонных грунтов с учетом влияния обводненности разреза и возможных резонансных явлений.

Все расчеты произведены для грунтовых условий, существующих на момент проведения изысканий.

По данным методов регистрации микросейсм и сейсмических жесткостей построена карта сейсмического микрорайонирования (рис. 1), на которой представлен прогноз приращения сейсмических воздействий по результатам прямых инструментальных наблюдений и расчетов [10].

Уровень сейсмической угрозы для объекта составил 7 баллов по карте ОСР-97В и принят за уточненный балл при построениях карты приращения интенсивности сейсмических воздействий [6, 11].

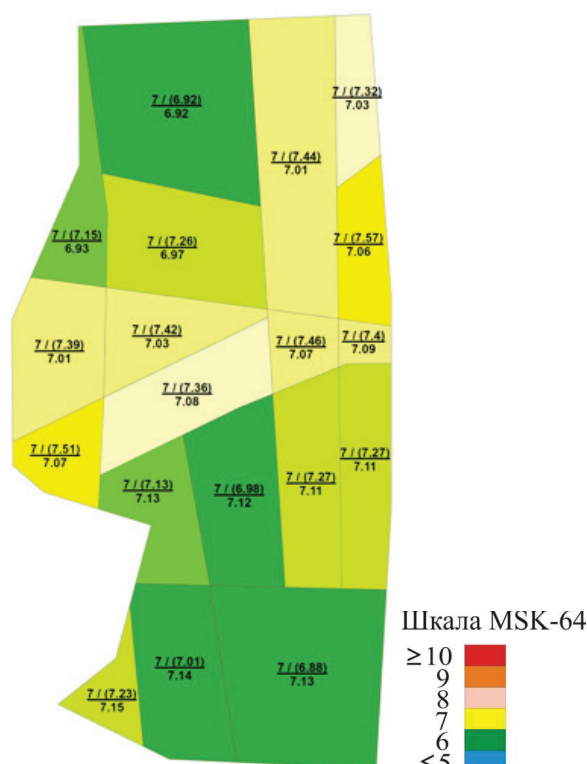


Рис. 1. Карта сейсмического микрорайонирования

Fig. 1. Map of seismic microzoning

На карте сейсмического микрорайонирования отображены сейсмические параметры грунтов, относящиеся к моменту проведения работ, прогнозируемые для территорий активного развития естественных или техногенных процессов, а также вероятностные количественные характеристики колебаний грунтов с указанием глубины, к которой они относятся (дневная поверхность) [12].

Сейсмическая интенсивность в баллах указана в виде дроби:

- в числителе арабскими цифрами слева – по карте ОСР-97В; справа, в скобках – прогнозируемое приращение по методу сейсмических жесткостей;
- в знаменателе – расчетное приращение сейсмической интенсивности (по методу регистрации микросейсм) на дневной поверхности [12].

Цветовая окраска соответствует цветам карты сейсмического районирования ОСР-97 [6].

Степень сейсмической опасности площадки для размещения объектов производственного назначения оценивается в 7,16 балла (усредненный показатель) по таксонометрическим единицам от 6,88 до 7,57 [13].

2. Выделение разрывных нарушений методом дипольного осевого зондирования и корреляционным методом преломленных волн [7, 14–16]

Разрывные нарушения объекта исследования морфологически представлены зонами смятия и

дробления, вследствие реализации напряжения в толще скального массива, образующими плитообразные ветвящиеся тела с четкими тектоническими контактами, для них характерны повышенная трещиноватость, дезинтеграция и водонасыщенность пород [16, 17]. Внутреннее строение определяется наличием тектонической брекчии вмещающих пород. Все разломы Нежданской системы сопровождаются оперяющимися швами сколового характера. Общая протяженность оценивается несколькими километрами [18].

Выделение основных разрывных нарушений и оперяющих швов проводилось по результатам анализа комплексных геолого-геофизических данных (рис. 2).

Основным методом, позволяющим выделить разрывные нарушения, характеризующиеся наличием зон разрушенных, выветрелых пород, кор выветривания, является корреляционный метод преломленных волн, так как для всех этих породных разностей характерна существенно отличающаяся от ненарушенного скального массива скорость распространения упругих волн – в зоне предполагаемых разрывных нарушений она стремится к нулю (табл. 1).

**Таблица 1.** Скорость распространения упругой продольной волны

**Table 1.** Rate of propagation of longitudinal elastic wave

Порода Rock	Скорость продольных волн (м/с) Rate of longitudinal elastic waves (m/s)	
	в ненарушенном скальном массиве in undisturbed rock mass	в зоне разрушенных пород in broken rock area
Алевролит Aleurolite	3500–4500	1600 и ниже 1600 and lower

Дополнительно к анализу были привлечены данные дипольного зондирования, в которых разрывные нарушения находят отражение в нарушении корреляции изолиний сопротивлений [7, 14, 19, 20].

И если оперяющие разрывные нарушения не всегда совпадают с минимумами скоростей упругих волн, то основные разрывные совпадают с волновой картинкой абсолютно.

3. Выделение погребенных льдов методом дипольного зондирования и методом естественного потенциала

На объекте исследования методом дипольного зондирования были выделены границы распространения льдов [7, 21].

На разрезе удельных сопротивлений льды выделяются зонами аномально высоких сопротивлений, по сравнению с вмещающими породами, и очень хорошо совпадают с интервалами распространения по данным бурения (табл. 2).

Помимо этого отмечено влияние погребенных льдов на характер естественного поля: в интервалах распространения погребенных льдов значение

разности потенциалов естественного поля стремится к минимуму (табл. 3).

**Таблица 2.** Удельное электрическое сопротивление пород  
**Table 2.** Electric resistivity of rocks

Порода/Rock	Сопротивление, Ом·м Resistance, Ohm·m
Лед/Ice	$10^8-10^9$
Скальный массив (алевролит) Rock mass (aleurolite)	30–150

**Таблица 3.** Разность потенциалов естественного поля при выделении льдов

**Table 3.** Potential difference of natural field in ice picking

Порода/Rock	Разность потенциалов, мВ Potential difference, mV
Лед/Ice	1–3
Скальный массив/Rock mass	3–5

Эти погребенные льды являются ледниковыми, водно-ледниковыми отложениями верхнеплейстоценового возраста, распространены не повсеместно, представлены маломощными реликтовыми моренными отложениями мощностью до 10 м.

4. Выделение зон фильтрации методом естественного потенциала

На объекте исследования методом естественного потенциала выделены обширные зоны фильтрационных процессов, тесно связанных с инженерно-геологическими условиями и рельефом местности. В зонах развития фильтрационных процессов разность потенциалов естественного поля возрастает, так как на поверхность выходят положительные заряды (табл. 4) [22–24].

**Таблица 4.** Разность потенциалов естественного поля при выделении зон фильтрации

**Table 4.** Potential difference of natural field in picking filtering zones

Породы/Rocks	Разность потенциалов, мВ Potential difference, mV
Водонасыщенные Water-saturated	4,4–5,0
Неводонасыщенные Water-unsaturated	3,0–4,4

Учитывая особо ответственный характер объектов, этому аспекту следует уделить особое внимание как на стадии планирования, так и при эксплуатации [16].

#### Результаты исследования

Проведенный комплекс геофизических исследований позволил решить поставленные задачи. Установлена степень сейсмической опасности площадки для размещения объектов производственного назначения, получен полный набор характеристик, необходимых для проектирования сооружений [25, 26].

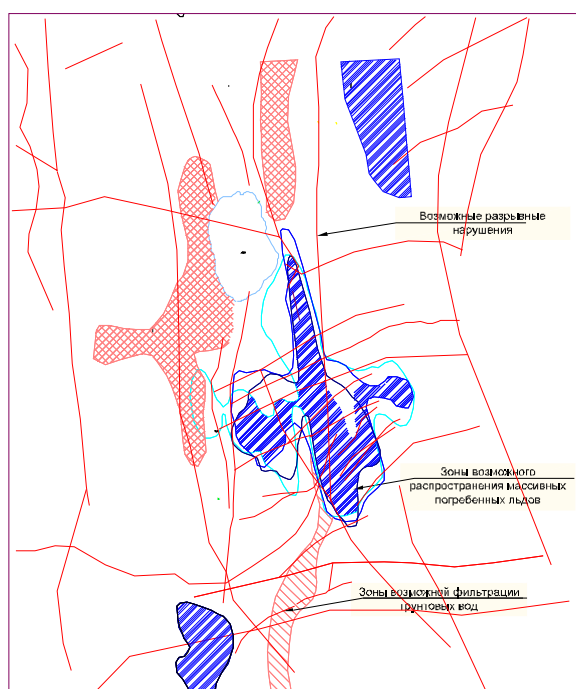


Рис. 2. Карта потенциально опасных инженерно-геологических явлений

Fig. 2. Map of potentially hazard engineering geological phenomena

По результатам выделения разрывных нарушений составлена тектоническая карта, выявлены несколько крупных, длиной до нескольких километров, практически параллельных разрывных нарушений, проходящих через все месторождение в долготном направлении, и сеть оперяющих их швов северо-восточного простирания. Так как генетически разрывные нарушения вызваны процессами смятия и дробления, то в результате их внутреннее строение определяется наличием тектонической брекчии, мощность которой составляет от нескольких метров до десятков метров.

Мощность массивов погребенных льдов на участке достигает десяти метров. Льды крайне восприимчивы к техногенным и иным нагрузкам, и в результате хозяйственной и иной деятельности в зонах погребенных льдов могут возникнуть необратимые термокарстовые и термоэрозионные процессы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешин А.С. Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов. – М.: Светоч Плюс, 2010. – 304 с.
2. СНиП 22–01–95. Геофизика опасных природных воздействий. Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 9 с.
3. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданское рудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: ГЕОС, 2001. – 227 с.
4. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмоструктура Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. – 227 с.

На территории месторождения были выявлены также интенсивные фильтрационные процессы. Особо следует учитывать связь фильтрационных потоков с разрывными нарушениями, если склоновые фильтрационные процессы развиты преимущественно в толще дисперсных пород, фильтрация, контролируемая зонами разрывных нарушений, развитая в толще скального массива. Опасность представляют разрывные нарушения, заполненные тектонической брекчией и милонитом, в массиве они играют роль водоупора [16]. Подобное сочетание может создавать в массиве сосредоточенные водные потоки (рис. 2).

#### Выводы

На объекте исследования определена степень сейсмической опасности, средний показатель которой составил 7,16 балла. Были выделены опасные геологические процессы: массивы погребенных льдов, высокопроницаемые зоны фильтрации и разрывные нарушения, которые показали непригодность выбранных площадок для целей размещения объектов производственного назначения, а именно хвостохранилища наливного типа.

Особую опасность в хвостохранилищах такого типа представляют зоны фильтрации и погребенные льды. Фильтрации, локализованные в разрывных нарушениях, могут выполнять роль естественных дренажей, в которых возможны значительные утечки в нижний бьеф сооружения, а погребенные льды, особенно в зонах фильтрации, в результате термоэрозионных, солифлюкционных и термокарстовых процессов – вызвать появление нежелательных форм рельефа в виде деформаций и просадок, что скажется на инженерно-технических и эксплуатационных свойствах хвостохранилища наливного типа. В связи с повышенной гидродинамической опасностью, дорогостоящими мероприятиями на строительство, обустройство и содержание хвостохранилища наливного типа предлагается хранение хвостов в «сухом виде» на полигоне без организации хвостохранилища либо в сгущенном пастообразном состоянии, с сохранением замороженного состояния основного массива отходов и грунтов основания [27–29].

5. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore Geology Reviews. – June 2014. – V. 59. – P. 123–151.
6. Карта сейсмического районирования территории Республики Саха (Якутия). М-б 1:2500000 / отв. ред.: В.С. Имаев, Б.М. Козьмин, А.Ф. Петров. – Якутск: ЯкутАГП, 1996.
7. СП 11–105–97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. Госстрой России. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000. – 49 с.



8. Seismic microzoning of the industrial platform of the mining-concentration plant / N.N. Grib, A.A. Syasko, A.V. Kachaev, G.V. Grib // *Life Sci. J.* – 2014. – № 11 (12). – P. 615–619.
9. Tatava T., Kubon P. Dynamic properties of tailing dam under mining induced seismic events // *Proc. of the 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Dynamics, EURO-DYN 2014.*
10. РСН 60–86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование: Нормы производства: Нормы производства работ. Госстрой РСФСР. – М.: МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР, 1986. – 32 с.
11. ТСН 22–301–97. Строительство в сейсмических районах. Карта сейсмического районирования республики Саха (Якутия). Масштаб 1:2500000 (к СНиП II-7–81).
12. РСН 65–87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. Госстрой РСФСР. – М.: МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР, 1987. – 26 с.
13. К вопросу использования дробных значений величин сейсмической интенсивности и ускорений (на примере сейсмического микрорайонирования площадки, проектируемой Чирь-Юртской ГЭС / В.Б. Заалишвили, Г. Етирмишли, Т. Маммадли, Д.А. Мельков, В.А. Шепелев // *Вестник Академии наук Чеченской Республики.* – 2014. – № 3 (24). – С. 86–95.
14. Mustafa Senkaya, Hakan Karsli. A semi-Automatic Approach to identify First Arrival Time: the cross-correlation Technique (CCT) // *Earth Sci. Res. J.* – 2014. – V. 18. – № 2. – P. 107–113.
15. Wail Mousa, Abdullatif Abdulrahman Al-Shuhail. Method of first arrival picking of seismic refraction data. Patent № US2014 0219054 A1. No. US 13/758.945, publ. 7 Aug. 2014.
16. Сясько А.А., Кузнецова К.С. Выделение разрывных нарушений по комплексным геолого-геофизическим данным // *Современные проблемы науки и образования.* – 2015. – № 2–1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21190> (дата обращения: 20.04.2016).
17. Алехин В.И. Разломы земной коры как зоны экологического риска // *Эл. журнал «Проблемы экологии».* – 2004. – № 1–2. – С. 35–41. URL: <http://masters.dgtu.donetsk.ua/2006/ggeo/eretina/library/art2.htm> (дата обращения: 20.04.2016).
18. Третьяков Ф.Ф. Новые данные по тектоническому строению районов некоторых рудных полей Восточной Якутии // *Отечественная геология.* – 2009. – № 5. – С.101–106.
19. Application of electrical resistivity imaging [ERI] to a tailings dam project for artisanal and small-scale mining in Zaruma-Portovelo, Ecuador / M. Zarroca, R. Linares, P.C. Velasquez-Lopez, C. Rogue, R. Rodriguez // *Journal of Applied Geophysics.* – V. 113. – P. 103–113.
20. Методика составления геоструктурных схем (моделей) скальных массивов в основаниях гидросооружений: пособие к СНиП 2.02.02–85. – Ленинград: ВНИИГ, 1991. – 97 с.
21. Grimm R.E. Characterization of ground ice using complex resistivity // *Ice in the Solar System: Mars to Pluto and Icy Worlds in Between* (GSA Planetary Geology Division; GSA Structural Geology and Tectonics Division; GSA Quaternary Geology and Geomorphology Division), 2014 GSA Annual meeting. – Vancouver, British Columbia, October 19–22, 2014. Session 84. Paper 84–1. V. 227. URL: [https://gsa.confex.com/gsa/2014AM/finalprogram/abstract\\_248448.htm](https://gsa.confex.com/gsa/2014AM/finalprogram/abstract_248448.htm) (дата обращения: 20.04.2016).
22. Геофизические методы поисков и разведки / Л.М. Горбунова, В.П. Захаров, В.С. Музылев, Н.М. Онин. – Л.: Недра, 1982. – 304 с.
23. Сясько А.А., Федоров А.А., Качаев А.В. Выделение зон фильтрации подземных вод при сооружении гидротехнических объектов Нежданинского горно-обогатительного комбината (Республика Саха (Якутия)) // *21 century: fundamental science and technology VIII: Proceedings of the Conference.* North Charleston, 16–17.06.2014. – North Charleston, SC, USA: Create Space, 2016. – V. 1. – P. 39–42.
24. Совместный анализ данных естественного поля и электротомографии для изучения Александровского городища (Калужская область) / В.А. Шевнин, А.А. Бобачев, С.В. Иванова, К.И. Баранчук // *X международная научно-практическая конференция и выставка «Инженерная геофизика – 2014».* – М., 2014. – Т. 6. – С. 1–6.
25. Решение основных задач районирования сейсмической и техногенной опасности в пределах криолитозоны / В.И. Джурик, С.П. Серебренников, А.Ф. Дреннов, Л.А. Усынин // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* – 2007. – Т. 17. – № 1. – С. 171–176.
26. СНиП II-7–81. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 44 с.
27. Чуянов Г.Г. Хвостохранилища и очистка сточных вод. – Екатеринбург: Изд. УГГГА, 1998. – 246 с.
28. Рекомендации по проектированию сооружений хвостохранилищ в суровых климатических условиях / Весоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВОДГЕО) Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1977. – 152 с.
29. Mine tailings dams: characteristic, failure, environmental impacts and remediation / D. Kossoff, W.E. Dubbin, M. Alfredson, S.J. Edwards, M.G. Macklin, K.A. Hudson-Edwards // *Applied Geochemistry.* – 2014. – V. 51. – P. 229–245.

*Поступила 28.04.2016 г.*

#### Информация об авторах

**Фёдоров А.А.**, ведущий инженер по наладке и испытаниям лаборатории физики мерзлых пород Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

**Сясько А.А.**, кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, ведущий научный сотрудник лаборатории физики мерзлых пород Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

UDC 551:553.3

## HIGHLIGHTING THE GEOLOGICAL HAZARDS OF INDUSTRIAL FACILITIES OF THE DEPOSIT «NEZHDANINSKOE»

Andrey A. Fedorov<sup>1</sup>,  
aan.fedorov@s-vfu.ru

Andrey A. Syasko<sup>1</sup>,  
aa.siasko@s-vfu.ru

<sup>1</sup> North-Eastern Federal University,  
16, Kravchenko street, Neryungri, 678960, Russia.

**Relevance** of the research is caused by the need to highlight the geological hazards in planning the industrial facilities (gold beneficiation plant and tailings dam) of the deposit «Nezhdaninskoe».

**The aim** of the research is to carry out a complex of geophysical explorations for assessing the physical condition of the medium under study and to predict potentially dangerous areas to detect geological hazards.

**Research methods:** registration methods of microseisms and seismic impedance for seismic microzoning of area. Seismic hazard degree is calculated using instrumental and computational methods, a full set of features is received as required for planning the constructions. The dislocations with a break in continuity were determined using axial dipole sounding method and correlation refraction seismic. Via these methods the dislocations with a break in continuity were highlighted: wave propagation velocity tends to zero in the assumed zone of dislocations with a break in continuity and resistivity contours correlation is broken. The buried ice masses were determined using axial dipole sounding and self-potential methods and filtering zones – by self-potential method and axial dipole sounding. Filtering zones and buried ice masses were singled out; the buried ice effect on natural field parameters is noted: within the buried ice propagation intervals the values of natural field potential difference tend to minimum.

**Conclusion.** The authors have plotted the map of potential geological hazards and proposed the alternative types of tailings storage. The studies show the impossibility of tailings impoundment construction taking into account the complex engineering and geologic region, geological hazards, high hydrodynamic risk, costly affairs for construction, fit-out and maintenance. As an alternative the tailings are proposed to store: in «dry state» at the testing ground without organization of tailings dam or in thickened «pasty state» preserving frozen state of the main mass of wastes and soils.

### Key words:

Deposit «Nezhdaninskoe», seismic microzoning, method recording microseisms, method of seismic impedance, correlation refraction seismic, axial dipole sounding, self-potential method, dislocation with a break in continuity, filtering zones, buried ice, geological hazards, gold beneficiation plant, tailings dam.

### REFERENCES

1. Aleshin A.S. *Seismicheskoe mikrorayonirovanie osobo otvetstvennykh obektov* [Seismic microzoning of vital objects]. Moscow, Sve-toch Plyus Publ., 2010. 304 p.
2. *SNiP 22-01-95. Geofizika opasnykh prirodnykh vozdeystviy. Minstroy Rossii* [Construction Norms & Regulations 22-01-95. Geophysics of dangerous weathering. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation]. Moscow, GP TsPP, 1996. 9 p.
3. Gamyanin G.N., Bortnikov N.S., Alpatov V.V. *Nezhdaninskoe rudnoe mestorozhdenie – unikalnoe mestorozhdenie Severo-Vostoka Rossii* [The ore field Nezhdaninskoe – the unique field of North-East Russia]. Moscow, GEOS Publ., 2001. 227 p.
4. Imaev V.S., Imaeva L.P., Kozmin B.M. *Seismotektonika Yakutii* [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow, GEOS Publ., 2000. 227 p.
5. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geology Reviews*, June 2014, vol. 59, pp. 123–151.
6. *Karta seismicheskogo rayonirovaniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya). Masshtab 1:2500000* [Seismic zoning plan of Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1:2500000]. Eds. V.S. Imaev, B.M. Kozmin, A.F. Petrov. Yakutsk, YakutAGP, 1996.
7. *SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva. Chast II. Pravila proizvodstva rabot v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh protsessov. Gosstroy Rossii* [Code of practice 11-105-97. Engineering geological site investigations for construction. P. II. Works execution rules in the areas of development of dangerous geological and engineering-geological processes. The Russian Federation State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy]. Moscow, PNIIS Gosstroya Rossii, 2000. 49 p.
8. Grib N.N., Syasko A.A., Kachaev A.V., Grib G.V. Seismic microzoning of the industrial platform of the mining-concentration plant. *Life Sci. J.*, 2014, no. 11 (12), pp. 615–619.
9. Tatava T., Kubon P. Dynamic properties of tailing dam under mining induced seismic events. *Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Structural Dynamics, EURO-DYN 2014*.
10. *RSN 60-86. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Seismicheskoe mikrorayonirovanie: Normy proizvodstva: Normy proizvodstva rabot. Gosstroy RSFSR* [Republican Construction Standards 60-86. Engineering site investigations for construction. Seismic microzoning: Work execution: Work execution standards. The Russian Soviet Federated Socialist Republic State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy]. Moscow, MosTsTISIZ Gosstroya RSFSR, 1986. 32 p.
11. *TSN 22-301-97. Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh. Karta seismicheskogo rayonirovaniya Respubliki Sakha (Yakutiya). Masshtab 1:2500000 (k SNiP II-7-81)* [Regional construction norms 22-301-97. Construction in seismic zones. Seismic zoning plan of Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1:2500000 (to Construction Norms & Regulations II-7-81)].
12. *RSN 65-87. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Seismicheskoe mikrorayonirovanie. Tekhnicheskie trebovaniya k proizvodstvu rabot. Gosstroy RSFSR* [Republican Construction Stan-

- dards 65–87. Engineering site investigations for construction. Seismic microzoning. Engineering requirements to work execution. The Russian Soviet Federated Socialistic Republic State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy]. Moscow, MosTsTISIZ Gosstroya RSFSR, 1987. 26 p.
13. Zaalishvili V.B., Efirmishli G., Mammadli T., Melkov D.A., Shepelev V.A. On the issue of using fractional values of the quantities of seismic intensity and accelerations (the case of seismic microzoning of the site projected by Chiri-Yurtskaya HEP). *Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic*, 2014, no. 3 (24), pp. 86–95. In Rus.
  14. Mustafa Senkaya, Hakan Karsli. A semi-Automatic Approach to identify First Arrival Time: the cross-correlation Technique (CCT). *Earth Sci. Res. J.*, 2014, vol. 18, no. 2, pp. 107–113.
  15. Wail Mousa, Abdullatif Abdulrahman Al-Shuhail. *Method of first arrival picking of seismic refraction data*. Patent no. US2014 0219054 A1, no. US 13/758.945, publ. 7 Aug. 2014.
  16. Syasko A.A., Kuznetsova K.S. Isolation of faults on integrated geological and geophysical data. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2–1. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21190> (accessed 20 April 2016).
  17. Alekhin V.I. Razlomy zemnoy kory kak zony ekologicheskogo riska [Earth break ups as ecological risk zone]. *Problemy ekologii*, no. 1–2, pp. 35–41. Available at: <http://masters.dgtu.donetsk.ua/2006/ggeo/eretina/library/art2.htm> (accessed 20 April 2016).
  18. Tret'yakov F.F. Recent data on tectonic structure of the area of some ore fields in East Yakutia. *Otechestvennaya Geologiya*, 2009, no. 5, pp. 101–106. In Rus.
  19. Zarroca M., Linares R., Velasquez-Lopez P.C., Rogue C., Rodriguez R. Application of electrical resistivity imaging [ERI] to a tailings dam project for artisanal and small-scale mining in Zaruma-Portovelo, Ecuador. *Journal of Applied Geophysics*, 2015, vol. 113, pp. 103–113.
  20. *Metodika sostavleniya geostrukturnykh skhem (modeley) skalnykh massivov v osnovaniyakh gidrosooruzheniy. Posobie k SNiP 2.02.02.-85* [Method of geostuctural schemes (models) of rock masses in foundations of hydraulic works. Guide to Construction Norms & Regulations 2.02.02.-85]. Leningrad, VNIIG Publ., 1991. 97 p.
  21. Grimm R.E. Characterization of ground ice using complex resistivity. *Ice in the Solar System: Mars to Pluto and Icy Worlds in Between (GSA Planetary Geology Division; GSA Structural Geology and Tectonics Division; GSA Quaternary Geology and Geomorphology Division)*. 2014 GSA Annual meeting. Vancouver, British Columbia, October 19–22, 2014. Session 84, paper 84–1, vol. 227. Available at: [https://gsa.confex.com/gsa/2014AM/financialprogram/abstract\\_248448.htm](https://gsa.confex.com/gsa/2014AM/financialprogram/abstract_248448.htm) (accessed 20 April 2016).
  22. Gorbunova L.M., Zakharov V.P., Muzylev V.S., Onin N.M. *Geofizicheskie metody poiskov i razvedki* [Geophysical prospecting]. Leningrad, Nedra Publ., 1982. 304 p.
  23. Syasko A.A., Fedorov A.A., Kachaev A.V. Vydelenie zon filtratsii podzemnykh vod pri sooruzhenii gidrotekhnicheskikh obektov Nezhdaninskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata (Respublika Sakha (Yakutiya)) [Zonation of suffosion at hydraulic engineering work of mining processing plant Nezhdaninskoe (Republic of Sakha (Yakutia))]. *21 century: Fundamental Science and Technology VIII: Proc. of the Conference*. North Charleston, 16–17 June 2014. North Charleston, SC, USA, Create Space Publ., 2016. Vol. 1, pp. 39–42.
  24. Shevnin V.A., Bobachev A.A., Ivanova S.V., Baranchuk K.I. Sovmestny analiz dannykh estestvennogo polya i elektrotomografii dlya izucheniya Aleksandrovskogo gorodishcha (Kaluzhskaya oblast) [The joint analysis of natural field and electrical tomography data for studying of the Aleksandrovskoe gorodishche (Kaluga region)]. *X mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya i vystavka «Inzhenernaya geofizika»* [Proc. 10<sup>th</sup> Int. Sci. and Prac. Conf. and Exhib. Engineering Geophysics – 2014]. Moscow, EAGE Publ., 2014. Vol. 6, pp. 1–6.
  25. Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Drennov A.F., Usynin L.A. Reshenie osnovnykh zadach rayonirovaniya seismicheskoy i tekhnogennoy opasnosti v predelakh kriolitozony [Solution of the main tasks of seismic and technotronic hazard zoning within the cryolithozone]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2007, vol. 17, no. 1, pp. 171–176.
  26. *SNiP II-7-81. Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh* [Construction Norms & Regulations II-7-81. Construction in seismic areas]. Moscow, FGUP TsPPP, 2007. 44 p.
  27. Chuyanov G.G. *Khvostokhranilishcha i ochildka stochnykh vod* [Tailings dam and sewage water treatment]. Ekaterinburg, UGGGA Publ., 1998. 246 p.
  28. *Vsesoyuzny nauchno issledovatel'skiy institut vodosnabzheniya, kanalizatsii, gidrotekhnicheskikh sooruzheniy i inzhenernoy gidrogeologii (VODGEO) Gosstroya SSSR. Rekomendatsii po proektirovaniyu sooruzheniy khvostokhranilishch v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh* [Union Scientific Research Institute of the water supply, sewage, waterworks and engineering hydrogeology (VODGEO) of the USSR State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy. Recommendations for design of tailings dams in rough environments]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 152 p.
  29. Kossoff D., Dubbin W.E., Alfredson M., Edwards S.J., MacKlin M.G., Hudson-Edwards K.A. Mine tailings dams: characteristic, failure, environmental impacts and remediation. *Applied Geochemistry*, 2014, vol. 51, pp. 229–245.

Received: 28 April 2016.

#### Information about the authors

**Andrey A. Fedorov**, leading engineer, North-Eastern Federal University.

**Andrey A. Syasko**, Cand. Sc., associate professor, leading researcher, North-Eastern Federal University.