

ТАУ-КЕН ІСІ
ГОРНОЕ ДЕЛО
MINING

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_136
МРНТИ 52.31.33

О.В. Фролова¹, А.И. Охотенко², Ә.Тельгараева¹, Д.А.Щербаков¹, С.С. Айтбаева²

¹Восточно-Казахстанский региональный технопарк «Алтай»,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: geolog1984@mail.ru*

E-mail: aohotenko@yandex.ru

E-mail: anelya.kazybaikyzy@bk.ru

E-mail: d.chsherbakov.at@gmail.com

²Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: aitbayevass@mail.ru

**ОРЛОВ БАЙЫТУ ФАБРИКАСЫНЫҢ ҚАЛДЫҚ ҚОЙМАСЫ
БӨГЕТІНІҢ ЖАЙ КҮЙІН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІН
ҚОЛДАНА ОТЫРЫП МОНИТОРИНГ ЖҮРГІЗУ**

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА
ОРЛОВСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ
МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**MONITORING OF THE CONDITION OF THE TAILINGS DAM OF THE ORLOVSKAYA
PROCESSING PLANT USING REMOTE RESEARCH METHODS**

Аңдатпа. Мақалада қалдық шаруашылығы құрылыстарын пайдалану мониторингінің нәтижелері келтірілген. Аэрофототүсірілім, жалпы мониторинг және ортофотоплан жасау орындалды. Құрылыстың қоршау бөгеттерінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге, қоршаған ортаны қорғау жөніндегі іс-шараларды орындауға бағалау жүргізілді. Бөгеттердің қауіпсіз пайдаланылуын қамтамасыз ету үшін қалдық қоймасы мен бөлу бөгетінің бөгеттеріндегі су деңгейін электротомографиялық профилідеу әдісімен өлшеу көзделген. Қалдық шаруашылығын қауіпсіз пайдалануды және тасқын суларды қауіпсіз өткізуді қамтамасыз ету үшін ұсыныстар берілді.

Түйін сөздер: Мониторинг, қашықтық әдістері, қалдық қоймасының бөгеттері, гидротехникалық құрылыстар

Аннотация. В статье представлены результаты мониторинга за эксплуатацией сооружений хвостового хозяйства. Выполнена аэрофотосъемка, общий мониторинг и создание ортофотоплана. Проведена оценка мероприятий по обеспечению устойчивости ограждающих дамб сооружения, выполнению мероприятий по охране окружающей среды. Для обеспечения безопасной эксплуатации дамб было предусмотрено проведение измерения уровня воды в дамбах хвостохранилища и разделительной дамбы методом электротомографического профилирования. Даны рекомендации для обеспечения безопасной эксплуатации хвостового хозяйства и безопасного пропуска паводковых вод.

Ключевые слова: Мониторинг, дистанционные методы, дамбы хвостохранилища, гидротехнические сооружения

Abstract. The article presents the results of monitoring the operation of tailings facilities. Aerial photography, general monitoring and creation of an orthophotoplane were performed. The assessment of measures to ensure the stability of the enclosing dams of the structure, the implementation of environmental protection measures was carried out. To ensure the safe operation of the dams, it was planned to measure the water level in the dams of the tailings dam and the separation dam by electrotomographic profiling. Recommendations are given to ensure the safe operation of the tailings farm and the safe passage of flood waters.

Keywords: *Monitoring, remote methods, tailings dams, hydrotechnical constructions.*

Введение. Вопрос обеспечения безопасной и надёжной эксплуатации дамб хвостохранилищ является приоритетным. Особую актуальность приобретает в связи с длительной эксплуатацией устойчивость склонов и откосов, и второе возможности дальнейшей эксплуатации с повышением ярусности хвостохранилища. В связи с этим проведение производственно-эксплуатационного мониторинга на гидротехнических сооружениях является обязательным мероприятием. В задачи исследований входили: установление и обоснование основных факторов, обеспечивающих устойчивость и экологическую безопасность гидротехнических сооружений; типизация воздействий хвостохранилищ на природную среду и классификация их последствий; разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости и экологической безопасности гидротехнических сооружений.

На сегодняшний день очень актуален вопрос получение информации о земной поверхности (включая расположенные на ней объекты) без непосредственного контакта с ней, то есть с применением различных методов дистанционного зондирования Земли. Предлагается проводить исследования с использованием беспилотных летательных аппаратов типа дрон DJI Mavic2 ZOOM и беспилотной авиационной системы типа дрон DJI Matrice 300 RTK.

Преимущества использования данного комплекса методов заключаются в следующем:

- низкая стоимость картографических и геодезических работ с применением БПЛА в сравнении с подобными работами, выполняемыми специалистом с использованием дорогостоящего специализированного оборудования;
- дроны обладают высокой производительностью и могут работать в труднодоступных для человека местах, подолгу находясь в воздухе, делая качественные снимки больших территорий;
- высокая точность фото и геодезических данных;
- БПЛА могут работать в качестве системы со специальным оборудование, которое может крепиться на корпусе, для повышения точности снимков и решения одновременно нескольких поставленных задач.

Материалы и методы исследования. На первоначальном этапе был проведён спутниковый мониторинг за поверхностными стоками хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики. Результаты наблюдений приведены на рис. 1, 2.



Landsat 8 (NDVI B5, B6, B4)



Sentinel-2 L2A

Рисунок 1. Спутниковые снимки от 28.01.2022

Намыв ведется с юго-восточного угла хвостохранилища. Поверхность хвостохранилища покрыта льдом за исключением прудка площадью 3,54 га. Слева и справа от сифонного водозабора отмечается повышение уровня воды в дренажной канаве. Уровень воды в прудке 276,66 м. Откачка дренажных вод не производится. На левом снимке

выделены участки водной поверхности на правом снимке они черного цвета.



Landsat 8 (NDVI B5, B6, B4)

Sentinel-2 L2A

Рисунок 2. Спутниковые снимки от 12.04.2022

Намыв ведется с северной дамбы хвостохранилища. В результате таяния льда прудок занимает 87,43 га, что составляет почти 90 % площади хвостохранилища. Уровень воды в прудке 276,93 м. Повышение уровня воды в прудке с 01.11.2021 г. по 18.04.2022 г. на 47 см привело к увеличению фильтрационной нагрузки на дамбы, особенно в местах с отсутствием пляжей. Максимальная фильтрационная нагрузка пришлась на северную дамбу, особенно на её восточную часть (голубой цвет) [1, 2].

Далее была проведена аэрофотосъёмка хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики Орловского производственного комплекса для фотофиксации натуральных наблюдений (рис. 3). По результатам проведенной аэрофотосъёмки созданы 3D модель местности, цифровая модель рельефа и ортофотоплан для мониторинга (рис. 4).

**Рисунок 3.** Аэрофотоснимок (Панорама)

На 18.04.2022 г. прудок сформирован на 88 % площади хвостохранилища. Это сезонное явление. Объём прудка на 18.04.2022 г. составляет 1077987 м³, что выше проектного объёма – 920000 м³. Весной лед тает и объём воды в прудке увеличивается порядка до – 150000 м³. В связи с этими естественными процессами в период таяния рекомендуется сбрасывать этот объём воды в аварийный прудок. Откачка дренажных вод не производится. Насос дренажной насосной не работает, порвана труба на дамбе 5 яруса. Устойчивость дамбы обеспечивается намывом проектных пляжей в осенний период. Контакт прудка с участками дамб на которых отсутствует намыв пляжа приводит к созданию аварийных ситуаций в результате фильтрации воды через дамбу, особенно в

зимний период [3,4].

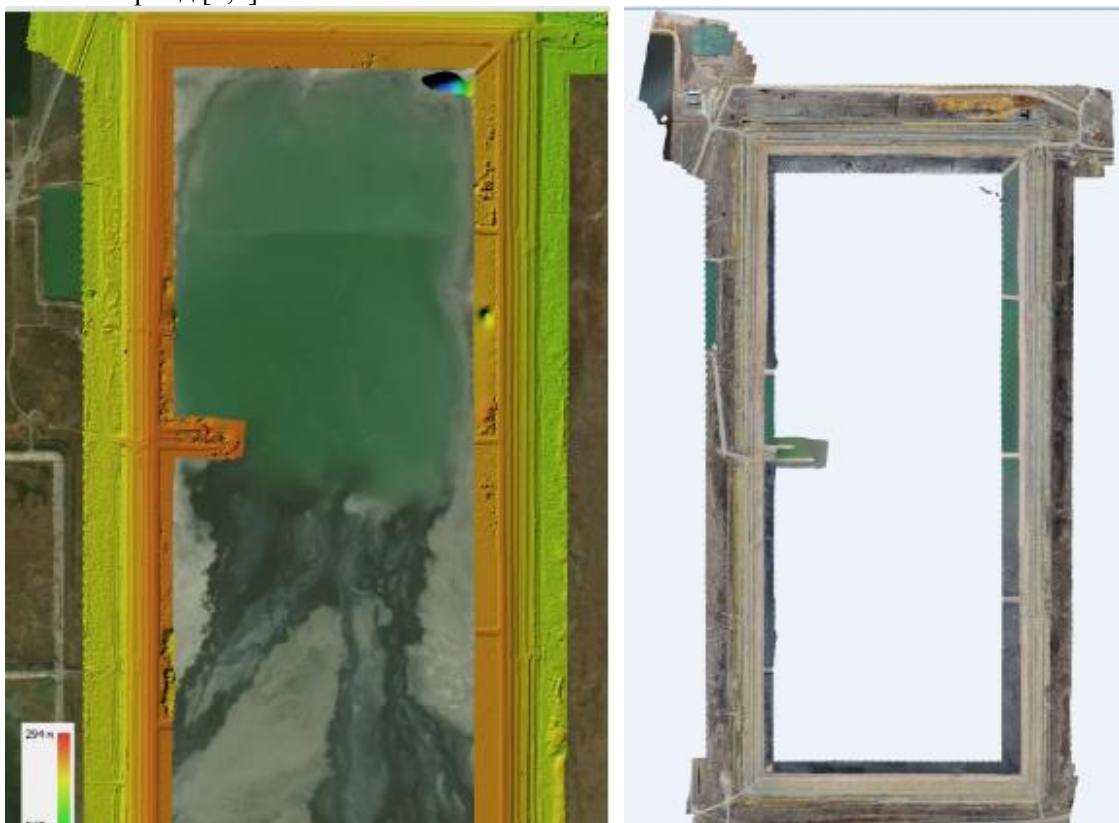


Рисунок 4. Спутниковые снимки от 12.04.2022

Участок в районе старого сифонного водозабора. Дамба отсыпана ПГС. В результате волнового воздействия происходит подмыв дамбы (рис. 5).



Рисунок 5. Подмыв западной дамбы на участке без пляжа

Во время натурального наблюдения были отмечены трещины на дамбе второго яруса (рис. 6, а). Наличие на дамбе древесно-кустарниковой и травяной растительности свидетельствует о высоком уровне воды в теле дамб первого и второго ярусов западной дамбы между прудком насосной и сифонным водозабором (рис. 6, б).

Корневая система растительности нарушает прочность дамбы.

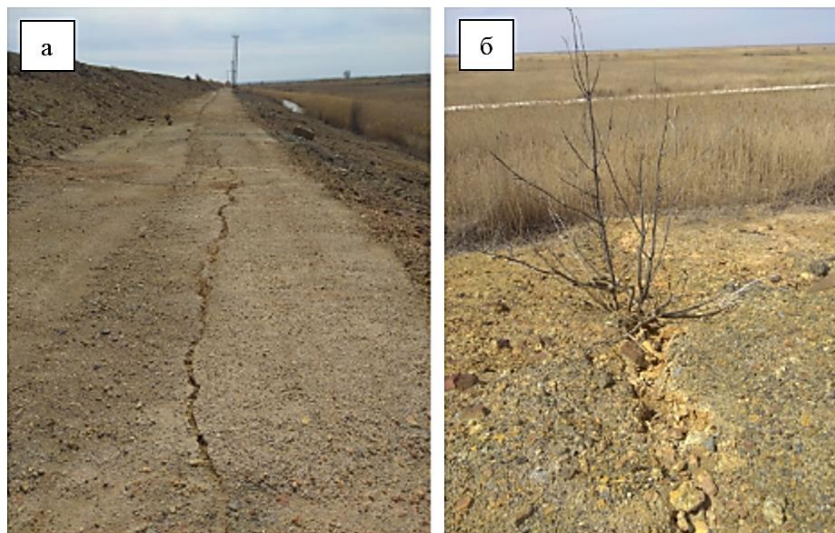


Рисунок 6. Подмыв западной дамбы на участке без пляжа [5]

Для обеспечения безопасной эксплуатации дамб техническим заданием предусмотрено проведение измерения уровня воды в дамбах хвостохранилища и разделительной дамбы.

Метод электромагнитного профилирования предназначен для использования в качестве измерительного средства бесконтактной электроразведки при решении геоэкологических, инженерно–геологических и геологоразведочных задач до глубин 10 метров. Данный метод даёт информацию об изменении сопротивления среды с глубиной посредством исследования частотных зависимостей компонент электромагнитного поля, создаваемого искусственным источником (рис. 7).



Рисунок 7. Проведение электромагнитного профилирования

На Орловской обогатительной фабрике было пройдено два профиля (рис. 8).



Рисунок 8. Расположение профилей (ООФ)

Результаты и их обсуждения. Профиль 1. Расположение профиля на дамбе хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики показано на рис. 9.

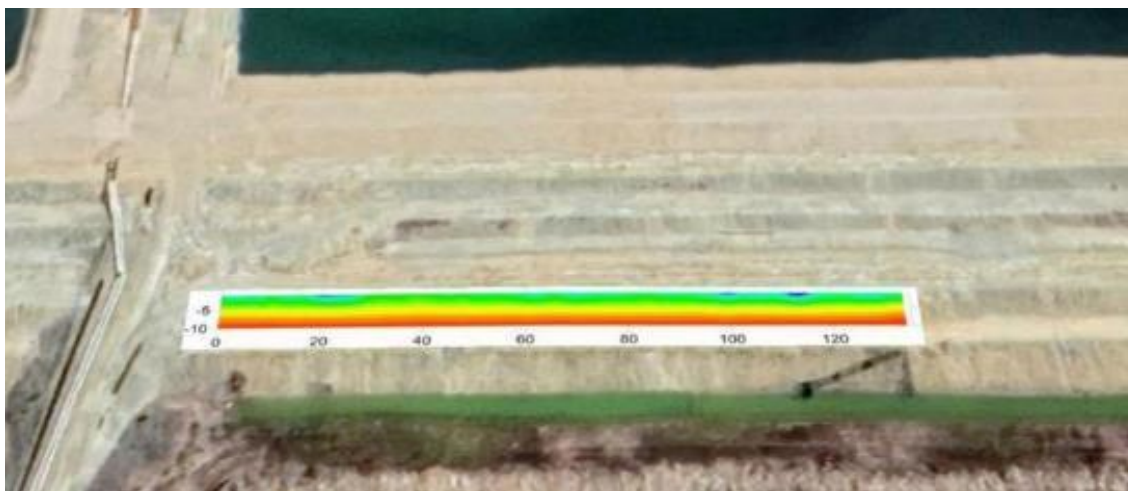


Рисунок 9. Расположение профиля 1 (ООФ)

Длина профиля составила 133 метра (рис. 10). Исходя из интерпретации геоэлектрического разреза слои без аномальных нарушений, начиная с 6 метров достаточно плотные, утрамбованные. Зоны низкоомных сопротивлений на отметках 20, 100 и 113 метров, отмеченные чёрным контуром, соответствуют зонам предповерхностного намочения, глубиной до 1 м. Чем больше в грунте содержится воды и растворимых веществ, тем меньше его удельное сопротивление. В практических условиях резкое снижение сопротивления грунта наблюдается обычно при увеличении влажности [6].

Далее на глубину нарушение целостности слоёв не отмечается.

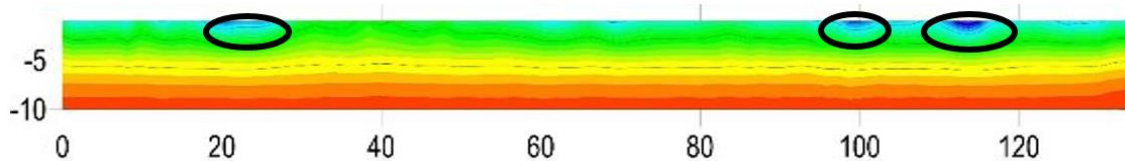


Рисунок 10. Профиль 1 (ООФ)

Профиль 2

Расположение профиля на дамбе хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики показано на рис. 11.

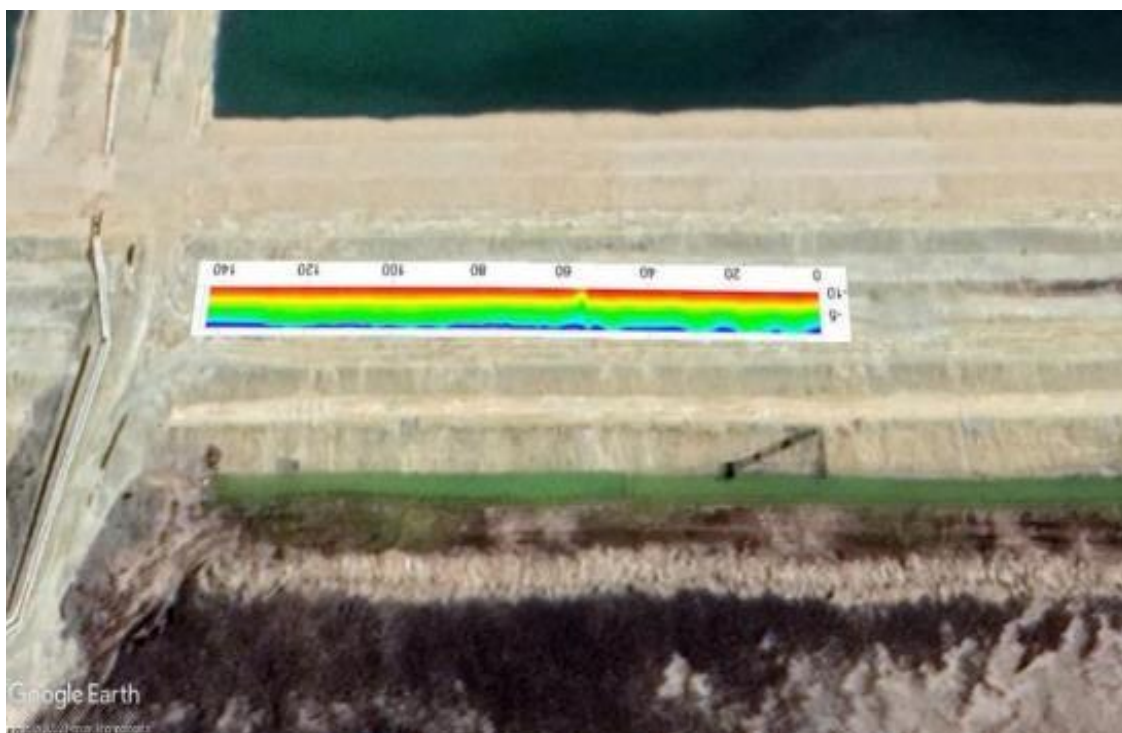


Рисунок 11. Расположение профиля 2 (ООФ)

Длина профиля - 144 метра. Профиль пройден в реверсном (обратном) направлении относительно профиля 1 (рис. 12). На данном профиле на отметке 57 метров выделяется ослабленная зона, которая прослеживается по всей глубине профиля, о чём свидетельствует понижение сопротивления относительно основных слоёв. Резкое падение сопротивления на данной отметки может свидетельствовать о резком намокании грунта по всей глубине профиля (в данном случае глубин исследования составила 10 метров) возможно в следствии нарушения целостности слоёв, слагающих данный ярус, за счёт образования трещины на данной отметке, либо за счёт усиленной фильтрации. По всей длине профиля отмечается предповерхностное намокание грунта глубиной до 2 метров [7, 8, 9].

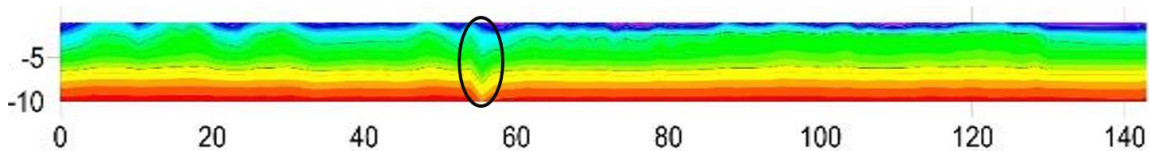


Рисунок 12. Профиль 2 (ООФ)

Отмеченная чёрным контуром зона соответствует месту высачивания воды с образованием наледи в феврале 2022 года (рис. 13).



Рисунок 13. Фотофиксация просачивание воды на поверхность

Заключение. Опираясь на полученные результаты были сформулированы основные выводы и рекомендации:

1. Уменьшить объём воды в прудке до проектного объёма [10].
2. Рекомендуется осуществления контроля за объёмом воды, поступающей в хвостохранилище [10,11,12].
3. Разработать график и завершить работы по строительству дамбы обвалования V яруса [13,14].
4. Завершить работы по распределительному трубопроводу и выпускам оборудованным запорной арматурой согласно проекту [12,13].
5. Произвести отсыпку внутреннего откоса дамбы щебнем в местах подмыва [15,16].
6. Произвести засыпку промоин и размывов дамб
7. Произвести пригруз дамбы I яруса инертным материалом по периметру хвостохранилища.
8. Убрать растительность на дамбах первого и второго ярусов.

9. Выявленные зоны предповерхностного намокания и ослабленная зона требуют дальнейшего наблюдения для разработки мероприятий, исключающих возможность повторения аварийной ситуации февраля 2022 года.

10. Дамба 5 яруса обеспечивает складирование хвостов до 2026 года. За этот период необходимо определить возможность строительства дамбы обвалования 6 яруса, либо строительство нового хвостохранилища [16].

11. Существующий объём прудка в период весеннего паводка выше проектного. Критерий безопасного уровня воды в прудке соблюдается. Рекомендуется уменьшить объём воды в прудке до проектного.

12. Выполнить проектные решения по строительству открытых дренажных канав по периметру хвостохранилища.

13. По результатам мониторинга уровня воды в пьезометрах оперативно корректировать график намыва пляжей для соблюдения критериев безопасной эксплуатации хвостохранилища Орловской обогатительной фабрики.

14. Рекомендуется проведение дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости первого яруса дамб по периметру хвостохранилища.

15. Разработка проекта строительства двух аварийных бассейнов для опорожнения магистрального пульпопровода.

16. Осуществление автоматического замера уровня воды в прудке с аварийной сигнализацией, выведенной в дежурное помещение.

17. Для обеспечения автоматизации контроля состояния ГТС и минимизации человеческого фактора рекомендуется продолжить внедрение автоматизированной системы дистанционного контроля (АСДК) и специализированного программного обеспечения, позволяющего математически моделировать фактическое состояние ГТС в реальном времени.

Данные исследования были проведены в рамках реализации проекта AP14870280 «Разработка технологии применения дистанционных методов для поиска редкометалльных месторождений и мониторинга объектов горнопромышленного комплекса с целью повышения эффективности геологоразведки», финансируемым Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

1. Мельников Н.Н. [и др.]. Комплексная многоуровневая система геомониторинга природно-технических объектов горнодобывающих комплексов // ФТПРПИ. – 2018. – №4. – С. 1-8.
2. Отчет по инженерно-геологическим изысканиям на площадке реконструкции сооружений хвостового хозяйства обогатительной фабрики Орловского производственного комплекса. ТОО «Казгипроцветмет». – 2014. – Т.1, КН.1. – С. 82.
3. Отчет по инженерно-геологическим изысканиям на площадке реконструкции сооружений хвостового хозяйства обогатительной фабрики Орловского производственного комплекса. ТОО «Казгипроцветмет». – 2014. – Т.1, КН.2. – С. 89.
4. Казгипроцветмет «Окончательный отчет по комплексным изысканиям на площадке прудка-испарителя очищенных хозяйственных стоков Орловского ГОКа», 1986 г. Архив КГЦМ, № И-1849 С/П.
5. Отчёт по инженерно – геологическим изысканиям на площадке реконструкции сооружений хвостового хозяйства обогатительной фабрики Орловского производственного комплекса. Рабочий проект. ТОО «Казгипроцветмет» г. Усть-Каменогорск, 2015. – Т.2. – С.87.
6. Hartwig M.E. Detection of mine slope motions in Brazil as revealed by satellite radar interferograms // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2016. – Vol. 75 (2). – Iss. 2. – P. 605-621.
7. Costantini M. Operational monitoring of mines by COSMO-SkyMed PSP SAR interferometry / [et al.] // European Space Agency. (Special Publication). – 2016.

8. Ferretti A. Satellite InSAR Data: reservoir monitoring from space, EAGE Publications bv, 2014. – 160 p.
9. InSAR data for monitoring land subsidence: time to think big/A. Ferretti [et al.] // Proc. International Association of Hydrological Sciences (PIAHS). – 2015. – P. 331-334.
10. СНиП РК 3.04-01-2008 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. Астана
11. СНиП РК 3.04-02-2008 Плотины из грунтовых материалов. Астана.
12. СНиП РК 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.
13. СНиП 3.07.02-87 Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения.
14. СНиП 3-02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
15. СН РК 3.04-01-2013 с СНиП РК 3.04-01-2008 Гидротехнические сооружения.
16. СН РК 3.04-03-2014 (параллельное действие с СНиП РК 3.04-04-2006) Основания гидротехнических сооружений.

References

1. Mel'nikov N. N. [i dr.]. Kompleksnaya mnogourovnevaya sistema geomonitoringa prirodno-tekhnicheskikh ob"ektov gornodobyvayushchih kompleksov //FTPPI. -2018.- № 4.- S. 1-8.
2. Otchet po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam na ploshchadke rekonstrukcii sooruzhenij hvostovogo hozyajstva obogatitel'noj fabriki Orlovskogo proizvodstvennogo kompleksa. TOO «Kazgiprocvetmet». – 2014. – Т.1, KN.1. – S. 82.
3. Otchet po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam na ploshchadke rekonstrukcii sooruzhenij hvostovogo hozyajstva obogatitel'noj fabriki Orlovskogo proizvodstvennogo kompleksa. TOO «Kazgiprocvetmet». – 2014. – Т.1, KN.2. – S. 89.
4. Kazgiprocvetmet «Okonchatel'nyj otchyot po kompleksnym izyskaniyam na ploshchadke pruda-isparitelya ochishchennyh hozbytovyh stokov Orlovskogo GOKa», 1986 g. Arhiv KGCM, № 1-1849 S/P.
5. Otchyot po inzhenerno – geologicheskim izyskaniyam na ploshchadke rekonstrukcii sooruzhenij hvostovogo hozyajstva obogatitel'noj fabriki Orlovskogo proizvodstvennogo kompleksa. Rabochij proekt. TOO «Kazgiprocvetmet» g. Ust'-Kamenogorsk, 2015. – Т.2. – S. 87.
6. Hartwig M. E. Detection of mine slope motions in Brazil as revealed by satellite radar interferograms//Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2016. – Vol. 75 (2). – Iss. 2. – P. 605-621.
7. Costantini M. Operational monitoring of mines by COSMO-SkyMed PSP SAR interferometry/ [et al.]//European Space Agency. (Special Publication). – 2016.
8. Ferretti A. Satellite InSAR Data: reservoir monitoring from space, EAGE Publications bv, 2014. – 160 p.
9. InSAR data for monitoring land subsidence: time to think big/A. Ferretti [et al.]//Proc. International Association of Hydrological Sciences (PIAHS). – 2015. – P. 331-334.
10. SNiP РК 3.04-01-2008 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. Астана.
11. SNiP РК 3.04-02-2008 Плотины из грунтовых материалов. Астана.
12. SNiP РК 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.
13. SNiP 3.07.02-87 Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения.
14. SNiP 3-02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
15. SN РК 3.04-01-2013 с SNiP РК 3.04-01-2008 Гидротехнические сооружения.
16. SN РК 3.04-03-2014 (параллельное действие с SNiP РК 3.04-04-2006) Основания гидротехнических сооружений.