

Н.П. Хрунина, А.Ю. Чебан**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА**

Приведены результаты исследования высокоглинистых песков рудно-россыпного месторождения руч. Болотистый Хабаровского края. Выявлен характер изменения упругих характеристик песков при водонасыщении. Установлено, что пески исследуемой золотоносной россыпи являются достаточно сложными для микродезинтеграции. Для снижения потерь ценных компонентов обоснована необходимость расширения исследований процессов, основанных на последовательном совмещении дополнительных гидродинамических эффектов, формируемых резонаторами различного типа.

Ключевые слова: водонасыщение, фазовый анализ, скорость ультразвука, волновое сопротивление, микродезинтеграция.

На основе многофакторного анализа выделен ряд объектов золотороссыпных месторождений Дальневосточного региона, ввод в эксплуатацию которых сдерживается недостаточно интенсивным развитием техники и технологии добычи из-за высокого содержания мелкого и весьма мелкого золота и повышенной глинистости золотоносного пласта. В настоящее время вовлекаются в эксплуатацию новые типы россыпей, ранее не относившиеся к промышленным объектам, – литоральные, элювиальные, техногенные, аллювиальные россыпи более сложного строения, менее богатые, содержащие значительную долю золота мелких фракций. Факторами, сдерживающими в настоящее время увеличение объемов эффективной переработки золотосодержащих песков, являются высокая энергоемкость применяемых горных машин и технологического оборудования, низкое качество процесса дезинтеграции, значительные потери ценных компонентов, достигающие 50% и более, обусловленные не только отклонениями технологических режимов от оптимальных значений, но несовершенством конструкций машин

и технологических процессов [1–5]. Глубокая дезинтеграция высокоглинистых песков месторождений благородных металлов во многом зависит от влияния водонасыщения на упругие характеристики песков. В настоящее время требуется более детальное изучение высокоглинистых песков россыпей региона с повышенным содержанием мелкого, тонкого, пластинчатого золота и в сростках, в том числе исследование изменения состояния золотоносных песков при водонасыщении, играющем значительную роль в разрушении структурных связей между глинистыми частицами и агрегатами при дезинтеграции и последующем выделении микрочастиц ценных компонентов. Одним из характерных месторождений, участки которого имеют высокое содержание мелких глинистых частиц в песковой фракции, является золотоносная россыпь в пойме руч. Болотистый (Хабаровский край). Данное месторождение локализовано на фланге Центрального Сихотэ-Алиньского разлома и представлено в виде зон штокверкообразного и линейного прожилковожильного окварцевания. Россыпь представляет единую залежь,

выдержанную по ширине и мощности с относительно равномерным распределением золота. Плотик россыпи сложен интенсивно выветрелыми туфогенными песчаниками, базальтами и аллохтонными глинами (продукты корообразования по перечисленным породам). Золото в россыпи мелкое, пылевидное. Форма золотинок тонко-таблитчатая, пластинчатая, чешуйчатая. Среднее содержание золота в песках 612 мг/м³. Разработка месторождения осуществляется открытым гидромеханизированным способом. Промывка и обогащение песков ведется гидроэлеваторными приборами ПГШ-II-50 со шлюзами глубокого и мелкого наполнения. Расчетное извлечение золота на шлюзах глубокого наполнения (ШГН) составляет 58,3%, на шлюзах ШМН – 27,6%. Высокое содержание тяжелых минералов-попутчиков снижает эффективность извлечения золота на шлюзах мелкого наполнения, забивая и уплотняя улавливающие покрытия [6].

Цель настоящей работы состоит в рассмотрении подходов к решению проблемы дезинтеграции высокоглинистых песков с мелкими и пылевидными частицами золота. 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 гранулометрия песков, а также – дисперсность, плотность, влажность, скорость ультразвука. Расчетным путем – волновое сопротивление, модуль сдвига, модуль Юнга в исходном состоянии и при водонасыщении до 30%. Гранулометрический состав проб определен ситовым анализом. Исследование дисперсности песковой фракции с размером частиц менее 0,5 мм проводилось на лазерном дифракционном микроанализа-

торе размеров частиц ANALYSETTE 22. Спектрометрический анализ выполнен на рентгенофлуоресцентном спектрометре Mobilab X-50. Фазовый анализ проб изучался с помощью дифрактометра ДРОН-7. Напряжение трубки – 40кВ, ток накала – 20 мА. Шаг 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 температуре воздуха 23 °С и относительной влажности 70%.

Рентгенофазовым анализом проведена идентификация линий рентгеновских спектров. В пробах исследуемого месторождения руч. Болотистый установлены минералы: каолинит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, монтмориллонит $\text{Na}_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $(\text{Al}(\text{OH})_2)_{0,33}\text{Al}_2(\text{Si}_{3,67}\text{Al}_{0,33}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, сидерит FeCO_3 . Наиболее трудноразрушаемыми являются каолиновые глины, за ними следуют гидрослюды и монтмориллониты. На рис. 1 представлена дифрактограмма максимумов интенсивности от систем различных кристаллографических плоскостей образца, принадлежащего месторождению руч. Болотистый. Спектроскопия показала преобладание по массе соединений Fe (до 6,4%), K (до 2,2%), Ca (до 0,5%), Ti (до 0,6%). Содержание в образцах соединений Zn, W, Rb, Mn, Ba, Zr, Cr, Sr менее 1%. Присутствие двух типов глинистых минералов, которые образуют трудноразрушаемые структурные связи, а также выявленное преобладание в пробах соединений железа Fe, предопределяет усложнение процесса микродезинтеграции песков.

Содержание частиц размером менее 5 мкм в песковой фракции дости-

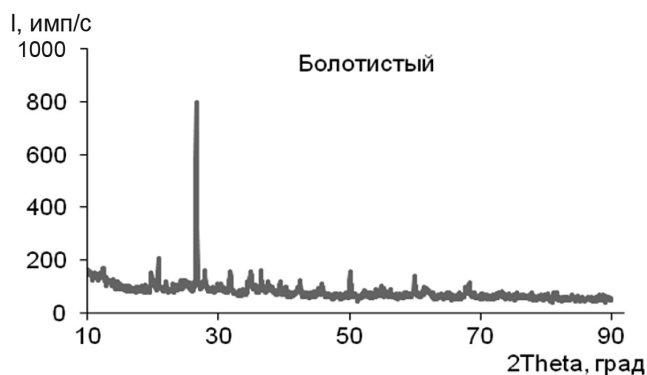


Рис. 1. Дифрактограмма пробы золотороссыпного месторождения в пойме ручья Болотистый

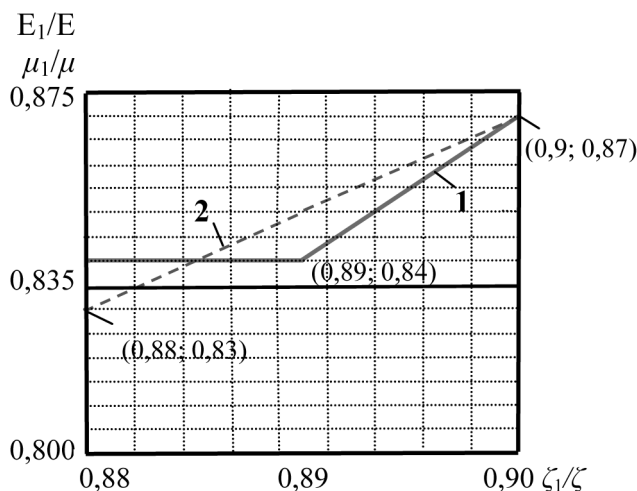


Рис. 2. Зависимости в безразмерных параметрах относительных значений модуля продольного растяжения (1) и сдвига (2) высокоглинистых золотороссыпных песков месторождения руч. Болотистый при изменении их водонасыщения

гает от 97 до 99%. Содержание частиц диаметром менее 300 мкм – 99,7%, менее 200 мкм – 99,4%, менее 5 мкм – 97,5%. Эспериментальным путем определена плотность, измерена скорость ультразвукового импульса V продольной волны в образцах. Аналитическим путем определены: параметры изменения эффективной сжимаемости; скорости продольной ультразвуковой волны V_p при равновесной эквивалентной плотности; модуль сдвига μ ; модуль продольного растяжения E и

коэффициент поперечного сжатия ν при естественной влажности и при изменении водонасыщения песков исследуемого месторождения до 30%. Волновое сопротивление при естественной влажности песков составляло величины от $2,2 \cdot 10^3$ до $3,3 \cdot 10^3$ кг/м² · с. Модули сдвига μ исследуемых песков, первые компоненты Лямэ λ , а также модули E продольного растяжения для песков в естественном состоянии и водонасыщенных до 30% определяли по формулам [2]. Определен однозначный характер влияния водонасыщения на упругие характеристики песков на основе изменения зависимостей относительных модулей сдвига и растяжения. На рис. 2 представлены зависимости относительных модулей продольного растяжения E_1/E и сдвига μ_1/μ , полученные расчетным путем при исследовании проб с участков россыпного месторождения руч. Болотистый, от относительного равновесного волнового сопротивления ζ_1/ζ водонасыщенных ζ_1 по отношению

к пескам с естественной влажностью ζ . Полученные зависимости в безразмерных параметрах показывают характер их изменения при увеличении водонасыщения высокоглинистых песков до 30%. Углы наклона кривых $(\mu_1/\mu)(\zeta_1/\zeta)$ и $(E_1/E)(\zeta_1/\zeta)$ не совпадают между собой, следовательно, влияние водонасыщения на упругие характеристики сдвига и растяжения песков не однозначно. Скорость изменения (кривая 1) модуля растяжения имеет непостоянный характер по сравнению

со скоростью изменения модуля сдвига (кривая 2).

Коэффициент поперечного сжатия ν при изменении водонасыщения остается практически постоянным и равным 0,25.

Коэффициент Пуассона ν для песков в естественном состоянии водосодержания и водонасыщении до 30% определялся по формуле [2, 7]:

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$$

Сравнительный анализ динамики изменения упругих характеристик при водонасыщении на трех объектах месторождений р. Нагима, руч. Бешеный и руч. Болотистый показал, что в песках месторождения руч. Болотистый процесс изменения модуля упругости будет протекать менее интенсивно, чем в песках сравниваемых месторождений. Динамика изменения упругих характеристик песков месторождения руч. Болотистый по сравнению с месторождением р. Нагима при водонасыщении в среднем ниже в 6,6 раза, а по сравнению с песками месторождения руч. Бешеный – ниже в 2,9 раза [8].

Решение проблемы глубокой дезинтеграции песков исследуемого месторождения возможно путем совершенствования технологии и средств воздействия на пески. В настоящее время получили развитие резонансные, электротермические, акустические, теплофизические, оптические, гидродинамические эффекты разрушения минеральной составляющей, моделируемые с помощью автоэмиссии в сильных электрических полях мощных ускорителей, ультразвуковых, электроразрядных, электромагнитных (СВЧ), лазерных, вибрационных, гидродинамических воздействий. Исследование различных режимов взаимодействия лазерного излучения с горными породами и жидкостями позволили

выделить три механизма разрушения материалов: абляция сухих материалов; вскипание воды в поверхностном слое пористых материалов, пропитанных водой, и последующее взрывное расширение водяного пара, ведущее к эффективному разрушению материала; разрушение твердых материалов ударными волнами, формирующимися в образце при экранировании плазмы тонким слоем прозрачной для ИК излучения жидкости, нанесенной на поверхность образца [9]. Широкое развитие получили исследования с использованием импульсного магнитного поля и высоковольтного электрического разряда в жидкости. Исследовалась эффективность применения магнитно-импульсной обработки руд с целью их разупрочнения перед измельчением. Р.Ф. Ганиевым, Н.И. Кобаско, В.В. Куликом, Л.Е. Украинским и другими исследовались колебательные явления в многофазных средах. Рассмотрены нелинейные вибрационные эффекты в многофазных средах применительно к различным технологическим процессам: флотационному обогащению руд, дегазации, тепло-массообмена. Основополагающими остаются вопросы взаимодействия минеральной составляющей гидросмесей со средой измельчения [10]. Теоретические и экспериментальные исследования и сведения, полученные до сих пор, дают неполные представления о возникающих процессах кавитации, струйных и вихревых течениях в многокомпонентных средах при гидродинамических воздействиях, инициируемых различными источниками физического и механического влияния. Решение проблемы микродезинтеграции сложных песков исследуемого месторождения возможно путем совершенствования технологии и средств воздействия на пески в условиях резонансных явлений в пульпе. В ИГД ДВО РАН разработан способ дезин-

теграции минеральной составляющей гидросмеси в условиях резонансных акустических явлений в гидротоке и геотехнологический комплекс для его осуществления [11–13]. В комплексе формируются поля первичной гидродинамической и вторичной акустической кавитации. Мощные гидродинамические возмущения в виде импульсов сжатия и разряжения производят многокаскадные волны возмущений и вторичные акустические микротоки. Отраженные вихри гидросмеси попадают на пластинчатые кавитационные элементы, которые распределены по контуру цилиндрической части верхнего корпуса реактора. Процесс резонансных акустических воздействий

на разуплотняемые высокоглинистые пески включает упругопластическую деформацию и разрушение с образованием новых поверхностей микрочастиц.

Способы дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси на основе генерирования гидроударных нагрузок и кавитационных импульсов, образованных колебаниями резонаторов, позволяют обеспечить микродезинтеграцию сложных песков, снижение потерь ценного компонента – мелкого золота, уменьшат энергозатраты, улучшат эксплуатационные показатели по обслуживанию комплекса, повысят рентабельность производства и экологическую безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамаев Ю.А., Ван-Ван-Е А.П., Со-рокин А.П. и др. Проблемы рационального освоения золотороссыпных месторождений Дальнего Востока (геология, добыча, переработка). – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 200 с.

2. Хрунина Н.П., Мамаев Ю.А., Пуляевский А.М., Стратечук О.В. Новые аспекты научных основ ультразвуковой дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей Приамурья. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. – 167 с.

3. Курторгин В.И. Оценка полноты использования запасов при отработке россыпных месторождений благородных металлов // Руды и металлы. – 2004. – № 1. – С. 43–50.

4. Замятин О.В., Кавчик Б.К. Расчет потерь золота с эфелями промысловых приборов по данным ситовых анализов // Золотодобыча. – 2008. – № 111.

5. Кавчик Б.К. Компьютерная программа расчета нормативных потерь золота с эфелями промысловых приборов // Золотодобыча. – 2009. – № 132.

6. Литвинцев В.С. Особенности вешественного состава и эксплуатации рудно-россыпного месторождения руч. Болотистый (Хабаровский край) // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 1. – С. 35–38.

7. Агранат Б.А., Башкиров В.И., Китайгородский Ю.И., Хавский Н.Н. Ультразвуковая технология. – М.: Металлургия, 1974. – 503 с.

8. Хрунина Н.П., Подшивалов В.С. Сравнительный анализ изменения физико-меха-

нических характеристик высокоглинистых песков золотоносных россыпей Приамурья при водонасыщении / Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы V Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, Россия, 02–04 октября 2013). – ИГД ДВО РАН, 2013. – 456 с.

9. О'Брайен Д., Грейвс Р., Зворыкин В.Д. и др. Взаимодействие излучения импульсных СО и СО₂-лазеров с горными породами, характерными для нефтяных месторождений. II. Газодинамические процессы при лазерно-индуцированной абляции и трансформация ИК-спектров поглощения и отражения горных пород // Физика и химия обработки материалов. – 2005. – № 1. – С. 47–55.

10. Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. и др. Основы физики и техники ультразвука. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с.

11. Хрунина Н.П. Патент 2506128 РФ, МПК В03В5/00. Способ дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси в условиях резонансных акустических явлений в гидротоке и геотехнологический комплекс для его осуществления, 2014.

12. Хрунина Н.П., Чебан А.Ю. Совершенствование процессов разработки высокоглинистых песков золотоносных россыпей // Системы, методы, технологии. – 2013. – № 3. – С. 167–170.

13. Мамаев Ю.А., Хрунина Н.П. Новые направления разработки высокоглинистых золотоносных месторождений // Горный журнал. – 2013. – № 10. – С. 50–52. **ГИАБ**

Хрунина Наталья Петровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: npetx@mail.ru,

Чебан Антон Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник,
e-mail: chebanay@mail.ru,

Институт горного дела ДВО РАН.

UDC 622.271.1; 622.236.73

THE RESULTS OF THE STUDY OF HIGHLY CLAYEY SANDS DEPOSITS OF PRECIOUS METALS IN THE FAR EASTERN REGION

Hrunina N.P.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
e-mail: npetx@mail.ru,

Cheban A.Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior,
e-mail: chebanay@mail.ru,

¹ Institute of Mining of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, Russia.

The results of the study of highly clayey sands ore-placer deposits stream Squishy Khabarovsk Krai. Identified the nature of changes of elastic characteristics of sands at water saturation. The sands of gold placer are complex enough to mikrodintegration. To reduce the loss of valuable components the necessity of development of research processes, based on the sequential combination of additional hydrodynamic effects, generated by different types of resonators.

Key words: water saturation, phase analysis, the speed of ultrasound, impedance, mikrodintegration.

REFERENCES

1. Mamaev Yu.A., Van-Van-E A.P., Sorokin A.P. *Problemy ratsional'nogo osvoeniya zolotorossypanykh mestorozhdenii Dal'nego Vostoka (geologiya, dobycha, pererabotka)* (Problems of sustainable development of goldplacer deposits in the Far East (geology, mining, processing)), Vladivostok, Dalnauka, 2002, 200 p.
2. Khrunina N.P., Mamaev Yu.A., Pulyaevskii A.M., Stratechuk O.V. *Novye aspekty nauchnykh osnov ul'trazvukovoi dezintegratsii vysokoglinistykh zolotosoderzhashchikh peskov rossypei Priamuriya* (New aspects of scientific bases of ultrasonic disintegration of highly clayey sand gold placers of the Amur region), Khabarovsk, Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2011, 167 p.
3. Kutorgin V.I. *Rudy i metally*. 2004, no 1, pp. 43–50.
4. Zamyatin O.V., Kavchik B.K. *Zolotodobycha*. 2008, no 111.
5. Kavchik B.K. *Zolotodobycha*. 2009, no 132.
6. Litvintsev V.S. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*. 2011, no 1, pp. 35–38.
7. Agranat B.A., Bashkirov V.I., Kitaigorodskii Yu.I., Khavskii N.N. *Ul'trazvukovaya tekhnologiya* (Ultrasonic technology), Moscow, Metallurgiya, 1974, 503 p.
8. Khrunina N.P., Podshivalov V.S. *Problemy kompleksnogo osvoeniya georesurov: Materialy V Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh* (Khabarovsk, Rossiya, 02–04 oktyabrya 2013) (Problems of integrated development for georesources: Materials V All-Russian Scientific Conference with the participation of foreign researchers (Khabarovsk, Russia, 02–04 October 2013)), IGD DVO RAN, 2013, 456 p.
9. O'Braien D., Greivs R., Zvorykin V.D. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*. 2005, no 1, pp. 47–55.
10. Agranat B.A., Dubrovin M.N., Khavskii N.N. *Osnovy fiziki i tekhniki ul'trazvuka* (Fundamentals of physics and technology of ultrasound), Moscow, Vysshaya shkola, 1987, 352 p.
11. Khrunina N.P. *Patent 2506128 RF, MPK V03V5/00*, 2014.
12. Khrunina N.P., Cheban A.Yu. *Sistemy, metody, tekhnologii*. 2013, no 3, pp. 167–170.
13. Mamaev Yu.A., Khrunina N.P. *Gornyi zhurnal*. 2013, no 10, pp. 50–52.



Е.М. Волохов, С.Ю. Новоженин, В.И. Киреева

**ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАТУРНЫХ
МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Освещены возможности современных технологий подземного строительства и охарактеризованы геомеханические процессы в подрабатываемых массивах при их применении. Отмечены особенности современных средств деформационного мониторинга и проблемы, связанные с их применением. Показано, что арсенал современных технологических средств и средств контроля за деформациями позволяет реализовать задачу управления геомеханическим состоянием породного массива. Проанализированы ошибки, связанные с применением в настоящее время средств геотехнического мониторинга при строительстве объектов метрополитена Петербурга. На примере жилого здания по ул. Бухарестская 156 к. 1 лит. А, подрабатываемого при строительстве двупутного перегонного тоннеля метрополитена между станциями «Южная» и «Проспект Славы» метрополитена Санкт-Петербурга, рассмотрены проблемы применения автоматизированного мониторинга, сформулированы основные рекомендации по работе с роботизированными тахеометрами. Проанализированы результаты мониторинга самого здания и массива над осью тоннеля. *Ключевые слова:* подземное строительство, тоннели, подработка зданий, зона влияния, моделирование, геотехнический мониторинг, роботизированный тахеометр.

Как известно, развитие современных мегаполисов невозможно без освоения подземного пространства. Помимо относительно малых объектов, проектировщикам и строителям приходится иметь дело с достаточно крупными объектами подземной инфраструктуры. Учитывая условия уже сложившейся на наземной поверхности, проблемы освоения подземного пространства должны решаться с учетом минимизации влияния горных работ. Задача охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ при строительстве подземных сооружений помимо прогнозной оценки сдвижений и разработки мер охраны, решается на основе использования текущих данных деформационного мониторинга.

Характеризуя современные технологии подземного строительства, необходимо отметить ряд существенных особенностей, определяющих возможности этих технологий и особенности геомеханических процессов в подрабатываемых массивах при их применении:

- широкое применение методов воздействия на породы для изменения их свойств с целью повышения их сопротивляемости деформациям и снижения эффектом связанных с нарушением гидрогеологических режимов водоносных горизонтов (наиболее востребованной на сегодняшний день является технология струйной цементации Jet grounding);
- применение не только пассивных, но и специальных активных средств сдерживания развития дефор-

мационных процессов, таких как пригруз забоя при использовании ТПМК, нагнетания растворов в заобделочное пространство;

- использование систем специального активного воздействия на массив прямо во время ведения горных работ и развития деформаций с целью компенсации этих деформаций практически в режиме реального времени (подобные системы компенсационного нагнетания уже применялись при строительстве выхода на станции «Адмиралтейская»).

Говоря об особенностях современных средств деформационного мониторинга необходимо отметить следующее:

- помимо геодезических систем сейчас в распоряжении исследователя имеется множество средств за контролем породного массива на базе скважинных систем и систем контроля деформационного состояния конструктивных элементов зданий и сооружений, контроля раскрытия существующих трещин и т.п.;

- большинство систем позволяют обеспечить автоматизированный режим наблюдений (без участия человека) и выбирать весьма малые интервалы между сериями наблюдений (практически обеспечивая наблюдения в режиме реального времени);

- разные системы могут работать одновременно в едином комплексе и обеспечивать прямую связь с системами управления технологическими параметрами горных работ и активного воздействия на массив.

Как видно арсенал современных технологических средств и средств контроля за деформациями позволяет говорить о реализации задач управления геомеханическим состоянием породного массива для обеспечения охраны подрабатываемых объектов при подземном строительстве, причем такое управление может осуществляться

в режиме реального времени и иногда даже без участия человека.

Однако, как показывает практика, раскрыть потенциал указанных средств управления геомеханическим состоянием массива при строительстве подземных сооружений пока не удается из-за ряда объективных и субъективных факторов, среди которых можно отметить и несовершенство нормативной базы (особенно в сфере натурных наблюдений), некомпетентность специалистов занимающихся этими вопросами, разрозненность сил и средств при участии в подземном строительстве большого количества организаций (даже на одном объекте), прямое лоббирование своих производственных и коммерческих интересов участниками такого строительства.

Анализ, применяемых в настоящее время средств геотехнического мониторинга при строительстве объектов метрополитена Петербурга, показал, что даже при попытках организации комплексных наблюдательных станций (когда задействованы и геодезические системы, и системы скважинного мониторинга деформаций породного массива, и системы контроля деформаций конструктивных элементов зданий) задачи объективной и своевременной оценки вредного влияния не решаются из-за ошибок допущенных еще на этапе проектирования наблюдательных станций. К наиболее важным, из выявленных нами при таком анализе, можно отнести следующие:

- необоснованность выбора критериев оценки вредного влияния (когда зачастую в качестве основного критерия используются лишь оседания, которые не позволяют выявить повреждения в зданиях и сооружениях);

- некорректность выбора периодичности наблюдений (когда активная фаза сдвижений, при быстром движении забоя, может пройти между циклами наблюдений) или сроков

наблюдений (когда измерения прекращаются сразу после завершения горных работ, т.е. еще до окончания деформационных процессов, которые могут активно развиваться из-за постепенного перераспределения напряжения и деформаций и реологических эффектов);

- отсутствие средств геометрической привязки узла контроля смещений скважинных реперов в устье скважины (когда автоматизированная система регистрирует лишь относительные смещения, относительно устья, которое также активно смещается);

- использование только скважинных датчиков фиксирующих вертикальные сдвигения над тоннелями, без контроля горизонтальных сдвижений в массиве сбоку от тоннелей (где в основном развиваются горизонтальные сдвигения и деформации).

Поэтому задачи разработки методики натурных наблюдений, требований к средствам измерений, обоснования базовых критериев оценки вредного влияния и обеспечения научного сопровождения на конкретных объектах в современных условиях подземного строительства следует признать весьма актуальными.

Одним из наиболее показательных примеров интенсивного освоения подземного пространства в Санкт-Петербурге является строительство южного участка Приморско-Фрунзенской линии метрополитена с тремя новыми станциями и новым двухпутным перегонным тоннелем.

Данная проходка осуществляется тоннелепроходческим механизированным комплексом производства Herrenknecht AG в четвертичной толще пород. Диаметр тоннеля составляет 10,4 м.

Отсутствие опыта строительства такого вида тоннелей в условиях Санкт-Петербурга не могло обеспечить достоверный прогноз и адекватную

оценку опасности для зданий и сооружений, попадающих в зону влияния.

В связи с этим было принято решение провести автоматизированный мониторинг деформаций первого подрабатываемого здания по ул. Бухарестская 156 к.1.

В качестве исходных данных для создания проекта и выбора системы мониторинга в соответствии с [1] были представлены:

- конструктивные особенности объекта мониторинга;
- инженерно-геологические условия оснований;
- расчетные величины деформаций основания и конструкций;
- категория технического состояния и данные осмотра.

Данное здание представляет собой 10-этажный жилой панельный дом. Он был построен по типовому проекту серии 600.11 в 2006 г. Имеет сложную конфигурацию в плане. По результатам освидетельствования ЗАО «Глав-ПетербургСтрой», отнесено ко II категории технического состояния.

Предрасчет сдвижений и деформаций грунтов в основании здания осуществлялся ВНИИ «Галургия» и Горным университетом. Полученные данные варьировались от первых мм до нескольких см в зависимости от степени заполнения заобделочного пространства.

Проект мониторинга на базе роботизированного тахеометра включал в себя:

- обоснование метода мониторинга;
- выбор места установки и конструкции станции;
- разработку схемы деформационной и опорной сети;
- расчет точности измерения сдвижений;
- расчет частоты и сроков проведения наблюдений.

В данном проекте смещения здания фиксировались с помощью робо-

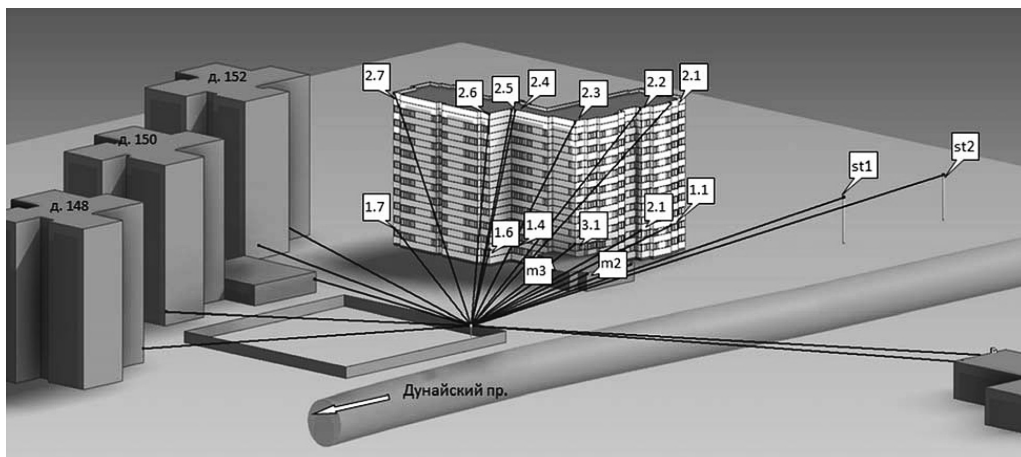


Рис. 1. Схема организации наблюдений

тизированного тахеометра TrimbleS8. Данный прибор позволяет получать данные о сдвигениях и деформациях в автоматическом режиме по трем заданным направлениям.

Применение такого вида мониторинга предполагает стационарную установку прибора на все время наблюдения в

месте с прямой видимостью на деформационные и опорные отражатели (рис. 1). В данном случае прибор был установлен на жестко закрепленном забетонированном столбе в 70 м от дома (рис. 2).

Так как прибор был установлен в зоне подработки и было необходимо переопределять его координаты перед каждым циклом измерений, опорные призмы были размещены на близлежащих зданиях в форме максимально приближенной к окружности для улучшения качества линейно-угловой засечки.

Деформационные отражатели были установлены на двух уровнях для определения крена здания в соответствии с рекомендациями нормативных документов [2], [3]. Общее количество установленных деформационных призм составило 14 штук.

Для получения оперативной и уточняющей информации о характере деформирования массива до начала подработки здания, были дополнительно установлены два отражателя на поверхности над осью тоннеля в зоне перед исследуемым зданием (st1 и st2).

Частота и необходимая точность измерений были рассчитаны исходя из скорости проходки и величины



Рис. 2. Станция мониторинга на ул. Бухарестская 156 к. 1

спрогнозированных оседаний массива по методике, изложенной в [4].

Не смотря на невысокие значения сдвижений, зарегистрированных на земной поверхности, и малые значения деформаций конструктивных элементов исследуемого здания, автоматизированный мониторинг позволил обобщить полученные результаты, выявить новые закономерности деформаций горных пород и сформулировать рекомендации для проведения подобного мониторинга на объектах подземного строительства.

К основным результатам деформационного мониторинга с точки зрения анализа развития деформационных процессов можно отнести следующее:

- использование режима перенагнетания в заобделочное пространство, рекомендованное разработчиками технологического регламента, приводило к возникновению неравномерных положительных вертикальных сдвижений – пучений на земной поверхности и деформаций растяжения;

- процесс развития пучений характеризуется существенной неравномерностью и скачкообразным проявлением деформаций поверхности примерно над зоной хвостовой части ТПМК;

- после прохода ТПМК и удаление на значительное расстояние на поверхности проявляется частичная компенсация деформаций, характеризующаяся постепенным развитием вторичных оседаний над осью тоннеля, достигших к ноябрю 2014 г. 4–6 мм;

- при проходе ТПМК в непосредственной близости от здания зарегистрированы незначительные положительные вертикальные смещения точек, достигающие величин в 2–4 мм;

- относительное сравнение статистически достоверных горизонтальных смещений точек на здании не позволило выявить значимых кренов стен в соответствии с [5], [6].

К важным результатам мониторинга в части характеристики возможностей примененной автоматизированной системы мониторинга деформаций можно отнести следующее:

- после обоснования выбора места расположения роботизированных станций, геометрии сети опорных и рабочих марок необходимо организовать предварительные серии наблюдений для апостериорной оценки точности и выявления влияния на измерения внешних факторов, часто заранее неизвестных;

- система деформационного мониторинга на базе РЭТ без использования специальных устройств плохо подходит для выявления сосредоточенных деформаций или наблюдения за существующими трещинами и деформационными швами;

- при организации периодических наблюдений необходимо обосновывать меньшие интервалы между сериями для обеспечения избыточности измерений, а также предусматривать использование процедур отбраковки измерений с выявленными искажениями из-за влияния плохо предсказуемых внешних факторов, таких например как вибрация;

- при расположении станции РЭТ в зоне возможных деформаций необходимо использовать независимую систему контроля опорных точек с возможностью корректировки положения станции на основе строгих способов;

- помимо штатных результатов наблюдений (т.е. смещений или их скорости, которые обычно закладываются производителями), система должна позволять оперативно оценивать деформации конструкций (как первых производных от смещений), которые и являются критериями оценки вредного влияния.

Как видно на примере анализа применения автоматизированной геодезической системы мониторинга де-

формаций, даже здесь, в казалось бы хорошо отработанной за последние годы сфере, имеется ряд принципиальных вопросов требующих своего решения при организации охраны зданий и сооружений. Лишь только часть из этих вопросов при проведении этих исследований была решена, что нашло отражение в указанных рекомендациях. Для упомянутых выше скважинных систем и систем контроля деформаций конструкций, нами также были сформулированы рекомендации, в основу которых также лег анализ опыта их применения на объектах Санкт-Петербургского метрополитена. Логическим итогом подобных работ, по нашему мнению, должна стать разработка инструкции, регламентирующей все основные вопросы организации натурных наблюдений при строительстве подземных сооружений в Российской Федерации. Отсутствие такой инструкции не позволяет обеспечить задачи охраны зданий и сооружений от вредного влияния горных работ и создает

условия для привлечения в эту сферу малокомпетентных специалистов, лоббирования своих производственных и коммерческих интересов организациями связанными с подземным строительством и фирм занимающимися внедрением систем мониторинга в смежных отраслях.

В заключении следует отметить, что именно непосредственный опыт применения автоматизированной геодезической системы мониторинга деформаций позволил нам выйти на ряд важных обобщений, не все из которых были очевидны на стадии теоретического обоснования этих наблюдений. Поэтому решение проблем организации натурных маркшейдерских исследований и геотехнического мониторинга при применении современных технологий строительства подземных сооружений должно по нашему мнению опираться не только на теоретическое обоснование, но на доскональный анализ опыта практического применения современных мониторинговых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24846-81 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений: введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 26 с.

2. Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей: ВСН 160–69 : введ. 01.04.70. – М.: Минтрансстрой, 1970. – 60 с.

3. Инструкция по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений: РД 07-166-97: утв. постановлением Госгортехнадзора

России от 17.09.97 № 29 : введ. в действие 17.09.97. – М., 2002. – 42 с.

4. Зайцев А.К., Марфенко С.В., Михелев Д.Ш. – Геодезические методы исследования деформаций сооружений – М.: Недра, 1991. – 272 с.

5. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге : ТСН 50-302-2004 : введ. 05.08.04. – СПб. – 2004. – 66 с.

6. Основания зданий и сооружений: СП 22.13330.2011: введ. 20.05.2011. – М., 2011. – 161 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Волохов Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: volohov@spmi.ru,

Новоженкин Сергей Юрьевич – ассистент кафедры, e-mail: snovx@mail.ru,

Киреева Вероника Игоревна – аспирант, e-mail: chacter@mail.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

PROBLEMS OF FIELD SURVEYING ORGANIZATION AND GEOTECHNICAL MONITORING IN THE APPLICATION OF UNDERGROUND CONSTRUCTION MODERN TECHNOLOGIES

Volohov E.M.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
e-mail: volohov@spmi.ru,

Novozhenin S.Yu.¹, Assistant of Chair, e-mail: snovx@mail.ru,

Kireeva V.I.¹, Graduate Student, e-mail: chacter@mail.ru,

¹ National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

Highlighted the potential of underground construction modern technologies and characterized geomechanical processes in soil mass which is undermined during their application. The features of deformation monitoring modern instruments and the problems associated with their use are discussed there. These problems are related to imperfections of specification documents, incompetence of experts dealing with these issues. Analyzed the errors associated with the use of geotechnical monitoring devices during construction of St. Petersburg Metro. The problems of the automated monitoring application are considered on the example of undermined residential building on the street. Bucharest 156/1 during the construction of underground tunnels between stations « Ynaya » and «Avenue of Glory» Metro St. Petersburg. The problems of the automated monitoring application and the basic guidelines for working with robotic tacheometers are presented here. The results of the building and the massif monitoring are analysed there too.

Key words: civil engineering, tunnels, buildings undermining, area of influence, modeling, geotechnical monitoring, robotic total stations.

REFERENCES

1. Grunty. *Metody izmereniya deformatsii osnovanii zdaniy i sooruzheniy*. GOST 24846-81 (Soils. Methods for measuring the deformation of the base of buildings and structures. State Standart 24846-81), Moscow, Izd-vo standartov, 1986, 26 p.
2. *Instruktsiya po geodezicheskim i marksheiderskim rabotam pri stroitel'stve transportnykh tonnelei*: VSN 160-69 (Instructions for geodetic and surveying work in the construction of transport tunnels: VSN 160-69), Moscow, Mintransstroj, 1970, 60 p.
3. *Instruktsiya po nablyudeniyam za sdvizheniyami zemnoi poverkhnosti i raspolozhennymi na nei ob'ektami pri stroitel'stve v Moskve podzemnykh sooruzheniy*: RD 07-166-97. (Instruction on observations of displacement of the Earth's surface and the objects located on it during the construction of underground structures in Moscow: RD 07-166-97), Moscow, 2002, 42 p.
4. Zaitsev A.K., Marfenko S.V., Mikhlev D.Sh. *Geodezicheskie metody issledovaniya deformatsii sooruzheniy* (Geodesic methods of deformation structures research), Moscow, Nedra, 1991, 272 p.
5. *Proektirovaniye fundamentov zdaniy i sooruzheniy v Sankt-Peterburge*. TSN 50-302-2004 (Design of the buildings foundations and structures in St. Petersburg: TSN 50-302-2004), Saint-Petersburg, 2004, 66 p.
6. *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy*: SP 22.13330.2011 (Foundations of buildings and structures: SP 22.13330.2011), Moscow, 2011, 161 p.



**РУКОПИСИ,
ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

**МЕХАНИЗМЫ ПОДАЧИ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ**
(№ 1048/07-15 от 23.04.15, 7 стр.)

Зававки С., Куликов В.В., e-mail: mechanica.mgri@yandex.ru,
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ).

**THE FEEDERS HYDRAULIC DRILLING RIGS USED IN THE EXPLORATION AND DEVELOPMENT
OF MINERAL DEPOSITS, AND REGULATION OF THE PARAMETERS OF DRILLING MODE**
(No. 1048/07-15 from 23.04.15, page 7)

Zawacki S., Kulikov V.V., e-mail: mechanica.mgri@yandex.ru,
Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia.