

УДК 622.833.5:622.25

Сентябов Сергей Васильевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58,
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

Селин Константин Владимирович

научный сотрудник,
лаборатория геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: fulminatory@yandex.ru

Карамнов Дмитрий Викторович

аспирант, младший научный сотрудник,
лаборатория геоинформационных систем
и цифровых технологий в недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: MarlouBT2011@yandex.ru

**УТОЧНЕНИЕ И МОНИТОРИНГ
ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ
ДЕФОРМАЦИЙ ОСИ ШАХТНЫХ
СТВОЛОВ НА ВЫРАБОТАННОЕ
ПРОСТРАНСТВО****Аннотация:*

Разработка месторождений полезных ископаемых очень часто происходит поэтапно. Сначала отрабатывают месторождение открытым способом, затем переходят на подземный. В то же время выбор месторасположения шахтных стволов – всегда сложная задача, когда необходимо выбрать между безопасностью и экономической эффективностью. Эта статья является этапом в решении актуальной задачи, которое, по мнению авторов, заключается в разработке метода оценки и прогнозирования изменения состояния главных вскрывающих выработок месторождения в период эксплуатации.

В связи с близким нахождением шахтных стволов Гайского ГОКа к бортам карьера возникла необходимость мониторинга вертикальных деформаций оси ствола, производящегося с 2014 г. В проводимых исследованиях была поставлена основная цель – выявление вертикальных деформаций оси ствола. На основе прямых инструментальных измерений линейных параметров на подземном руднике Гайского ГОКа были выявлены закономерности формирования отклонения оси ствола шахты «Клетевая» в сторону выработанного пространства.

Определение параметров смещения оси ствола шахты «Клетевая» на выработанное пространство карьера и подземного рудника является сложной многоэтапной задачей, в ходе решения которой следует учитывать множество факторов. Исходя из условия, что наклон ствола меняется, изменяются измеряемые линейные параметры положения оси отвеса. Изменения линейных параметров на наблюдательной станции всех горизонтов могут быть просуммированы для получения общей величины отклонения ствола на участке от 0 до -990 м. Для проведения мониторинга была создана методика инструментального измерения отклонения ствола шахты на различных глубинах.

Ключевые слова: бетонная крепь стволов, напряженно-деформированное состояние, наблюдательная станция, устойчивость, вертикальные деформации, мониторинг, инструментальные измерения.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.108

Sentyabov Sergey V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Geodynamics and Mining Pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.,
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

Selin Konstantin V.

Researcher,
Laboratory of Geodynamics and Mining Pressure,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: fulminatory@yandex.ru

Karamnov Dmitry V.

Postgraduate Student, Junior Researcher,
Laboratory of Geoinformation Systems
and Digital Technologies in Subsoil Use,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: MarlouBT2011@yandex.ru

**PARAMETERS REFINING AND
MONITORING FOR VERTICAL
DEFORMATIONS OF THE AXLE
OF MINE SHAFT ON THE WORKED SPACE***Abstract:*

The development of mineral deposits very often occurs in stages. First, the field is mined as open, then they switch to the underground method. At the same time, choosing the location of mining shafts is always a difficult task when you need to choose between safety and economic efficiency. This paper is a step in solving the urgent problem, according to the authors, the solution of which is to develop a method for assessing and predicting changes in the state of the main opening workings of the field during operation.

Due to the close proximity of the mine shafts of the Gaisky GOK to the sides of the quarry, it became necessary to monitor the vertical deformations of the shaft axis, which has been carried out since 2014. In our studies, the main goal was to identify vertical deformations of the shaft axis. On the basis of direct instrumental measurements of linear parameters at the underground mine of the Gaisky GOK, regularities of the formation of the deviation of the axis of the shaft of the mine "Kletevaya" towards the worked-out space were revealed.

Determining the offset parameters of the axis of the Kletevaya mine shaft on the mined space of the open pit and underground mine is a complex multi-stage task, during the solution of which many factors should be considered. Based on the condition that the inclination of the barrel changes the measured linear parameters of the vertical axis. Changes in linear parameters at the observation station of all horizons can be summed to obtain the total deviation of the shaft in the area from 0 to -990 m.

For monitoring, a methodology was developed for instrumental measuring the deviation of the shaft at various depths.

Keywords: concrete lining of shafts, stress-strain state, observation station, stability, vertical deformations, monitoring, instrumental measurements.

* Исследования выполнены по государственному заданию №075-00581-19-00 по теме № 0405-2019-0007

Введение

На базе Гайского медноколчеданного месторождения был построен Гайский горно-обогатительный комбинат, где сосредоточено 76 % запасов меди Оренбургской области. С целью ускорения вовлечения в эксплуатацию богатых руд и увеличения мощности предприятия разработку месторождения вели комбинированным способом с совмещением открытых и подземных работ. Рудовмещающая свита представлена альбитофирами, туфобрекчиями, туфами основного и смешанного составов, интенсивно рассланцованными и окварцованными (рис. 1) [1, 2].



Рис. 1 – Геологический разрез по линии 113

Первая очередь карьера № 1 была сдана в эксплуатацию в 1963 г. с проектной мощностью 2 млн т. Одновременно со строительством карьера на северном его борту велось строительство подземного рудника. Первая ступень вскрытия (при высоте этажа 60 м) включала горизонты 170 – 440 м. Месторождение было вскрыто скиповым и клетевым спаренными стволами, на флангах расположили вентиляционные стволы. Выемку руды из камер производили этажно-камерной системой разработки с отбойкой руды глубокими скважинами. Проектной мощности рудник достиг на третий год эксплуатации.

Так как комбинированная отработка месторождения осуществлялась впервые, значительное внимание уделялось безопасности работ. Одним из важнейших параметров являлась толщина предохранительного целика между карьером и подземными выработками [3]. Вначале сложенный из руды, с понижением очистных работ он был отработан карьером и представлен массивом из твердеющей закладки. С целью повышения интенсивности отработки месторождения и производительности труда было применено самоходное технологическое оборудование. Для его доставки в шахту с уступа карьера был пройден наклонный съезд, который также служил для доставки материалов.

Переход на самоходное оборудование повлиял на выбор схемы вскрытия и подготовки месторождения к эксплуатации. Вторая ступень вскрытия включала горизонты 440 – 685 м. При проектировании второй очереди рудника было намечено увеличить производственную мощность в несколько раз за счет применения самоходного оборудования.

Вскрытие было осуществлено вертикальными стволами шахт «Эксплуатационная», «Клетевая», «Закладочная», наклонным съездом и вентиляционными стволами. Высота этажа 80 м, ширина камер 20 м, концентрационный горизонт пройден на отметке -685 м от поверхности. На промежуточных горизонтах -510, -590, -670 м руду из блоков самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) доставляли до рудоспусков, затем перепускали на откаточный горизонт -685 м и в вагонах транспортировали к стволу [4].

Третья ступень вскрытия месторождения предусматривала проходку промежуточных горизонтов -750, -830, -910 м и концентрационного горизонта -936 м. В связи с задержкой строительства концентрационного горизонта и с целью скорейшего ввода в эксплуатацию нижних горизонтов для поддержания производственной мощности рудника был предложен вариант вскрытия, предусматривающий строительство участков дробилок вблизи рудных тел ниже горизонта -850 м и транспортирование руды конвейерами в дробильно-дозаторный комплекс шахты «Эксплуатационная». Вскрытие запасов предусматривалось вертикальными стволами шахт «Эксплуатационная», «Закладочная», «Новая», «Средняя вентиляционная», «Южная вентиляционная», «Северная вентиляционная» и наклонным съездом. Участковые дробилки расположены вблизи рудных тел на горизонте -860 м.

С 2012 г. приоритетными реконструируемыми объектами подземного рудника являлись стволы четырех шахт – «Клетевая», «Северная вентиляционная», «Эксплуатационная» и «Новая». Строительство подземных объектов всех шахт ведет шахтостроительное управление (ШСУ) Гайского ГОКа. Назначение ствола шахты «Клетевая» – спуск людей до отметки -1420 м, обеспечение работы водоотлива, подача сжатого воздуха и воды в шахту.

Анализ и методика определения искривления оси стволов

Предложенный метод контроля предполагает определение величины отклонения ствола от вертикальной оси, вызванного теоретически возможным смещением массива горных пород в сторону выработанного пространства карьера. Определение параметров смещения оси ствола шахты «Клетевая» на выработанное пространство карьера и подземного рудника является сложной многоэтапной задачей, в ходе решения которой следует учитывать множество факторов, среди которых

- этапы проходки ствола;
- этапы разработки карьера;
- этапы отработки камер подземного рудника;
- изменение параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород в результате формирования выработанного пространства;
- изменение параметров НДС массива горных пород в результате влияния факторов, связанных с циклическим изменением напряжений, действующих в массиве.

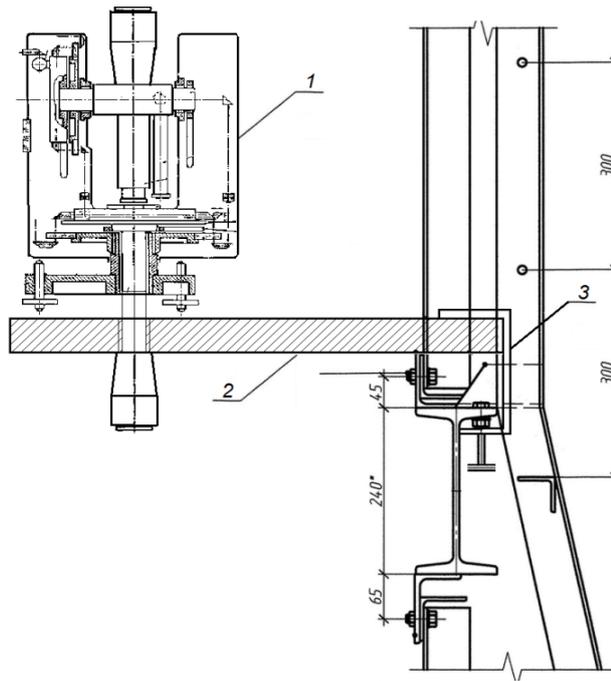


Рис. 3 – Схема установки тахеометра:
1 – тахеометр; 2 – консоль; 3 – крепление консоли

На рис. 4 представлены результаты четырех серий наблюдений по определению положения оси ствола.

Исходя из представленных данных, следует отметить, что наклон оси в сторону выработанного пространства подтвержден как данными инструментальных наблюдений, так и результатами моделирования.

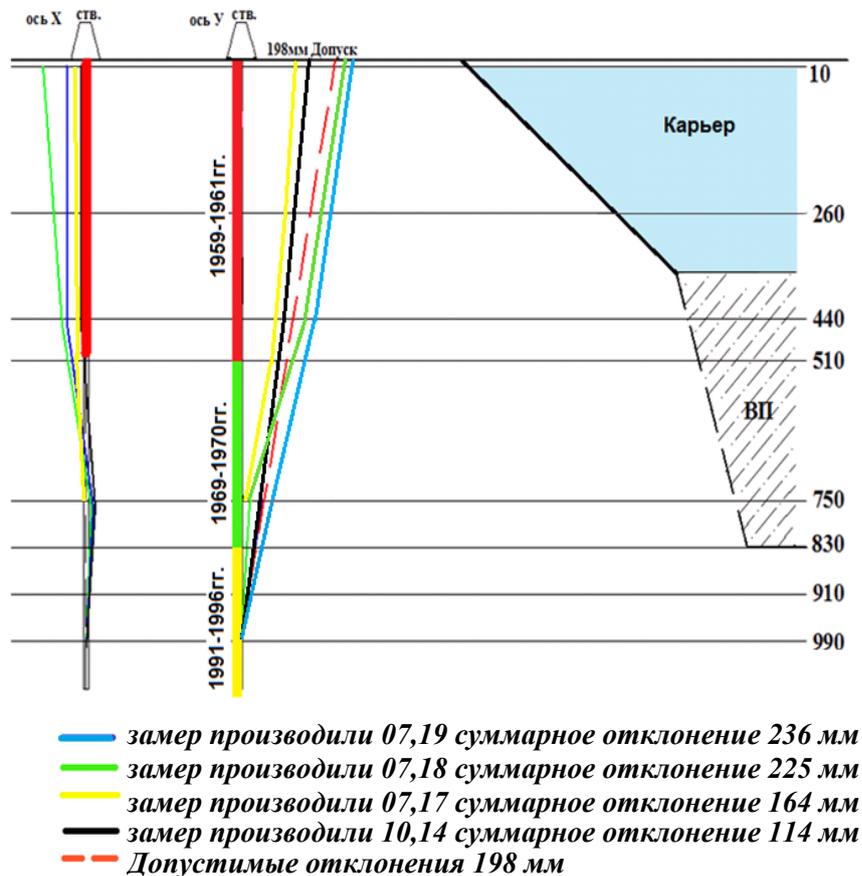


Рис. 4 – Результаты определения положения оси ствола «Клетевой»

Результаты мониторинга смещения параметров оси ствола шахты «Клетевая» и массива горных пород на Гайском месторождении

На рудниках повсеместно наблюдается узел сочленения шахтных стволов и выработанного пространства, включающего карьер и зону обрушения от подземных горных работ. На Гайском ГОКе в результате полувековой деятельности все 8 стволов оказались на расстоянии от 140 до 480 м (в среднем 200 м) от борта карьера № 1 и возможной зоны обрушения от подземных горных работ диаметром 1400 м (рис. 5).

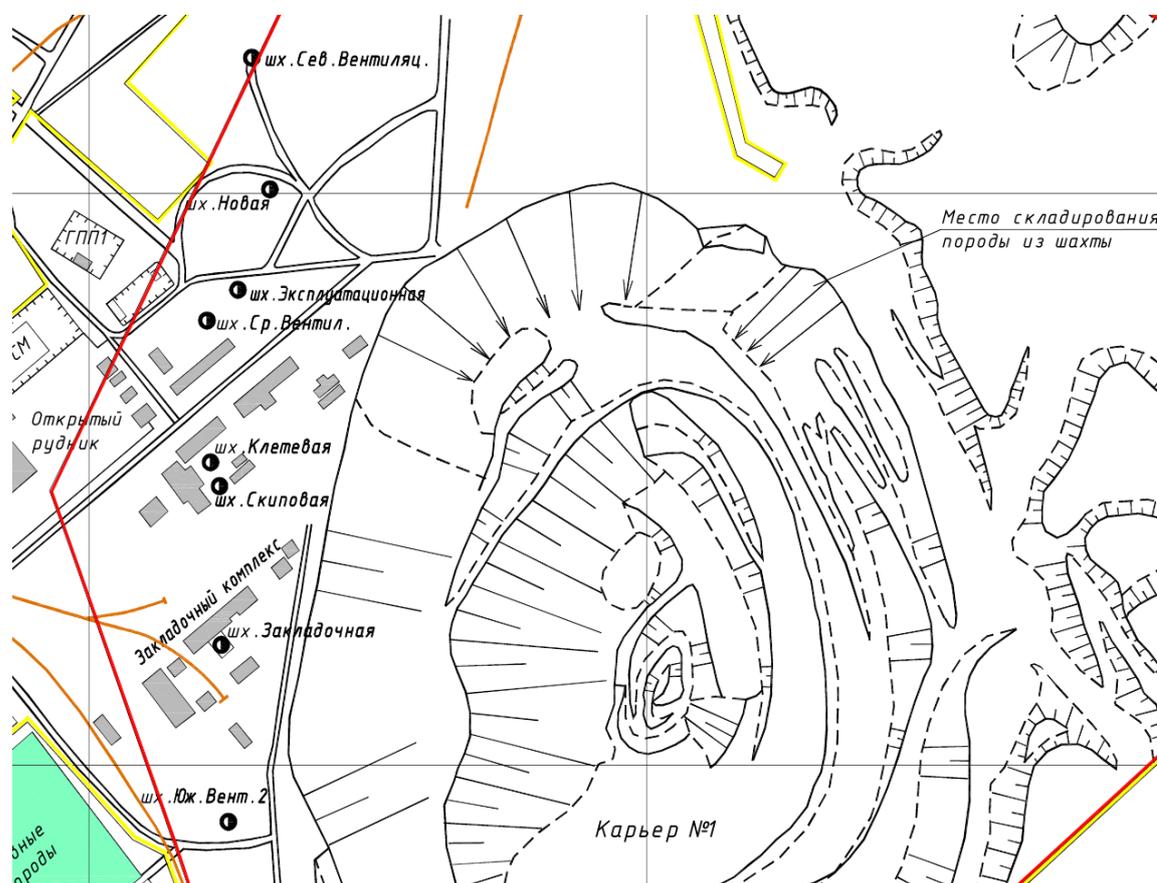


Рис. 5 – План промышленной площадки

В результате проведенных исследований подтвердился общий тренд отклонения оси ствола. По уточненным данным суммарный наклон оси в сторону выработанного пространства составил по оси У 236 мм при допустимом отклонении оси ствола 198 мм в соответствии с п. 324 «Инструкции по производству маркшейдерских работ» РД 07-603-03. Измерения проводились по разработанной в ИГД УрО РАН методике, но не сертифицированной на данный момент. Результаты приведены на рис. 6. Для подтверждения полученных результатов необходимо привлечь специализированную организацию, владеющую сертифицированной методикой измерения. Это сравнение позволит провести сертификацию нашей методики как более технологически простой и экономически эффективный способ.

Рост вертикальных деформаций, зафиксированный с 2014 г., возможно, связан с выявлением в результате анализа исследований изменения НДС во времени значений $\Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_2$ на месторождениях Урала [5 – 8]. В ходе натурных исследований было установлено явление периодического изменения НДС массива горных пород вследствие расширения и сжатия земной коры с временным интервалом, в среднем, 11 лет. Считается, что преобладание протонного излучения приводит к сжатию, а преобладание электронного – к расширению материала [9 – 13].

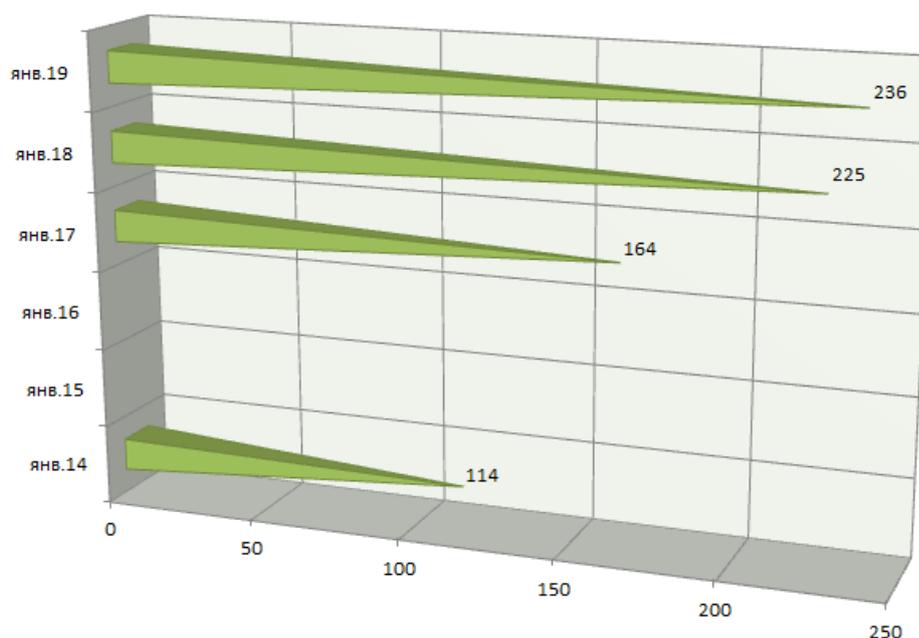


Рис. 6 – Результаты определения положения оси ствола «Клетевой» за период 2014 – 2019 гг.

Следует отметить, что дополнительно на напряженное состояние массива горных пород влияние оказывают подрабатываемые карьерные выработки, которые могут как увеличивать, так и уменьшать природные напряжения в зависимости от конкретных горно-технических условий выемки рудных тел.

Выводы

1. На основе прямых инструментальных измерений линейных параметров на подземном руднике Гайского ГОКа были выявлены закономерности формирования отклонения оси ствола шахты «Клетевая» в сторону выработанного пространства.

2. В результате проведенных исследований подтвердился общий тренд отклонения оси ствола. По уточненным данным суммарный наклон оси в сторону выработанного пространства составил по оси «У» 236 мм при допустимом отклонении оси ствола 198 мм в соответствии с п. 324 «Инструкции по производству маркшейдерских работ» РД 07-603-03.

3. Произведены инструментальные измерения отклонения ствола шахты «Клетевая» от вертикальной оси на различных горизонтах. Дано теоретическое обоснование полученных результатов.

4. С целью подтверждения теории и обоснования полученных инструментальных данных установлены закономерности формирования НДС массива горных пород вокруг открытого и подземного выработанного пространства.

Литература

1. Зубков А.В. Determining displacement parameters of "Kletevaya" shaft axis over mined out space = Определение параметров смещения оси ствола "Клетевая" на выработанное пространство / А.В. Зубков, С.В. Сентябов, К.В. Селин. - doi.org/10.1051/e3sconf/20185602008 // Problems of Complex Development of Georesources = Проблемы комплексного освоения Георесурсов: VII International Scientific Conference = 7 Международная научная конф. (Khabarovsk, Russia, September 25-27, 2018). – Хабаровск, 2018.

2. Зубков А.В. Модуль деформации массива горных пород – функция рангов слагающих ее блоков / А.В. Зубков, Ю.М. Зубков // Геомеханика и напряженное состояние земных недр: материалы Международной конференции (Новосибирск, 4 -7 октября 1999 г.). - Новосибирск, 1999. - С. 65-70.
3. Волков Ю.В. Развитие геотехнологии обработки Гайского месторождения / Ю.В. Волков, В.Д. Камаев, И.В. Соколов // Известия вузов Горный журнал. – 2004. – № 1. – С. 43-47.
4. Сентябов С.В. Исследование и прогноз изменения напряженно-деформированного состояния крепи шахтных стволов на Гайском руднике / С.В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 79-85.
5. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. – 333 с.
6. Сентябов С.В. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов / С.В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 415-419.
7. Юревич Г.Г. Охрана горных выработок от воздействия взрывов / Г.Г. Юревич, В.Д. Беляков, Б.Н. Севастьянов. – Москва: Недра, 1972. - 136 с.
8. Зубков А. В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры / А.В. Зубков, К.В. Селин, С.В. Сентябов // Литосфера. - 2015. - № 6. - С. 116-129.
9. Зубков А.В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры / А. В. Зубков // Доклады Академии наук. - 2018. -Т. 483, № 3. - С. 1-11.
10. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду / Х.И. Абдусаматов. – Санкт-Петербург: Нестор, 2013. – 246 с.
11. Тарасов Б.Г. Пульсация земли и циклы геодинамической активности в потоках космической плазмы / Б.Г. Тарасов. - Санкт-Петербург : МАНЭБ, 2009. – 319 с.
12. Хаин В.Е. Геотектоника с основами геодинамики. - 2-е изд. / В.Е. Хаин, М.Г. Ломидзе. – Москва : МГУ, 1995. – 463 с.
13. Зубков А.В. Взаимосвязь физических процессов в космосе на солнце и их проявление в литосфере = The Relationship of the Space by the Sun and their in the Lithosphere / А. В. Зубков, С. В. Сентябов; ДФВУ. - doi: 10.1088/1755-1315/459/4/042082 // Земля и наука об окружающей среде : международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям "FarEastCon" (Владивосток, остров Русский, 1-4 октября 2019 года). - 2020. - Т. 459, гл. 3. - С. 042082.