

3-7-2020

## BASIC PARAMETERS OF NON-TRADITION METHODS OF THERMAL PROCESSING FOR INCREASING ABRASIVE WEAR-RESISTANCE OF STEEL PRODUCTS

D. M. Berdiyev

*Tashkent State Technical University named Islam Karimov*

A A. Yusupov

*Tashkent State Technical University named Islam Karimov*

M A. Umarov

*Tashkent State Technical University named Islam Karimov*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Berdiyev, D. M.; Yusupov, A A.; and Umarov, M A. (2020) "BASIC PARAMETERS OF NON-TRADITION METHODS OF THERMAL PROCESSING FOR INCREASING ABRASIVE WEAR-RESISTANCE OF STEEL PRODUCTS," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 1 , Article 10.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss1/10>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

## MECHANICS

УДК 621.78

**BASIC PARAMETERS OF NON-TRADITION METHODS OF THERMAL PROCESSING FOR INCREASING ABRASIVE WEAR-RESISTANCE OF STEEL PRODUCTS****Berdiyev D.M., Yusupov A.A., Umarov M.A.**

Tashkent State Technical University named Islam Karimov

**ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ****Бердиев Д.М., Юсупов А.А., Умарова М.А.**Ташкентский государственный технический университет  
им. Ислама Каримова**ПУЛАТЛИ МАҲСУЛОТЛАРНИ АБРАЗИВ ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИЛИГИНИ ОШИРИШ УЧУН ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШНИНГ НОАНЪАНАВИЙ УСУЛЛАРИНИНГ АСОСИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ****Бердиев Д.М., Юсупов А.А., Умарова М.А.**

Ислом Каримов номидаги Ташкент давлат техника университети

**Abstract.** The article discusses the use of thermal and thermo cyclic processing in order to increase the abrasive wear resistance by the example of samples from the St5Ghs steel, 35, 45, 65G and U8 compared to the reference sample. Preliminary processing was carried out, which consisted in normalization from heating temperatures from  $A_{c3}$  (or  $A_{c1}$ ) + 30 ÷ 50 °C to 1200 °C and pulsed cyclic hardening. The final heat treatment provides an increase of 20 ÷ 50% of the wear resistance of steels during sliding friction against loose abrasive particles. During pulsed cyclic hardening, the highest dislocation density of 65G steel is formed with a preliminary pulsed cyclic heating of 450 °C - 3 cycles, which increases the wear resistance by up to 30% compared to conventional induction hardening.

**Key words:** abrasive wear resistance, heat treatment, dislocation density, induction hardening, hardness.

**Аннотация.** В статье рассматриваются применение термической и термоциклической обработки с целью повышения абразивной износостойкости на примере образцов из сталей Ст5Гпс, 35, 45, 65Г и У8 в сравнении с эталонным образцом. Проводили предварительную обработку, которая заключалась в нормализации с температур нагрева от  $A_{c3}$  (или  $A_{c1}$ ) + 30 ÷ 50 °C до 1200 °C и импульсной циклической закалке. Завершающая термическая обработка обеспечивает повышение на 20 ÷ 50% износостойкости сталей при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы. При импульсной циклической закалке наиболее высокая плотность дислокаций стали 65Г формируется при предварительном импульсном циклическом нагреве 450 °C - 3 цикла, что увеличивает износостойкость до 30% в сравнении с обычной индукционной закалкой.

**Ключевые слова:** абразивная износостойкость, термическая обработка, плотность дислокаций, индукционная закалка, твердость.

**Аннотация.** Мақолада Ст5Гпс, 35, 45, 65Г ва У8 маркали пўлатларни эталон намунага солиштириб ейилишга бордошлилигини ошириш мақсадида термик ва термоциклик ишлов бериш қўлланилганлиги кўриб чиқилган.  $A_{c3}$  (ёки  $A_{c1}$ ) + 30 ÷ 50 °C дан 1200 °C гача бўлган оралиқ ҳароратда дастлабки қиздириб ишлов бериш ва импульслик циклик тоблаш ўтказилди. Пўлатларни тугалланган термик ишлов бериш натижасида

---

**MECHANICS**

---

*маҳкамланмаган абразив материаллар билан ишқаланиб ейилишида бардошлилигини 20 ÷ 50% юқори бўлиши таъминланди. 65Г маркали пўлатни импульсли циклик тоблашдаги дастлабки импульсли циклик қиздириши 450 °С - 3 циклда юқори даражадаги дислокация зичлиги қийматига эришилди, натижада олинган қийматларни оддий индукцион тоблашдаги қийматга солиштирилганда ейилишига бардошлилик 30% га ошди.*

**Таянч сўзлар:** абразив ейилишга бардошлилик, термик ишлов бериш, дислокация зичлиги, индукцион тоблаш, каттиклик.

**Введение.**

Нетрадиционные методы термической обработки стальных изделий используют как средство достижения максимального уровня таких свойств как вязкость, прочность и износостойкость.

Обычные, стандартные режимы термической обработки стальных деталей, как правило, обеспечивают достаточно высокий уровень механических свойств [1]. Однако в ряде случаев этого оказывается недостаточно. В частности это касается вязкости металла детали, которая обеспечивает высокую ее надежность [2].

Особое место занимает такое свойство как износостойкость. Именно она в большинстве случаев ограничивает срок службы детали и машины в целом. Одним из важнейших факторов (кроме внешних), определяющих сопротивление металлических сплавов изнашиванию, является их структурное состояние. Абразивный износ сталей является самым разрушительным и поэтому ежегодно расходуется большое количество металла для изготовления запасных деталей [3].

Среди нетрадиционных методов термической обработки широкое применение получили методы термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией и термоциклическая обработка (ТЦО).

Термической обработкой с двойной фазовой перекристаллизацией обеспечивает измельчение аустенитно зерна, можно получить стальное изделие с высоким уровнем плотности дислокаций в кристаллическом строении металла и мелким аустенитно зерном [4].

Эффективность ТЦО с точки зрения достижимости свойств определяется режимом ТЦО, количеством циклов, скоростью нагрева и охлаждения, а также маркой стали. Анализ результатов выполненных работ показывает, что в основе отрабатываемых режимов ТЦО лежат закономерности фазовых превращений при нагреве и охлаждении стали, как в условиях полимерного превращения, так и без него [5].

Последние работы в этой области свидетельствуют о достаточно широком использовании ТЦО в целях улучшения структуры и свойств металла [7,8]. В работе [7] представлены материалы, касающиеся измельчению зерна титанового сплава Ti-46Al-2Cr-2Nb при циклической термообработке с размером зерна до 15 мкм при контроле температуры и скорости нагрева.

Циклический нагрев в интервале температур 400-480 °С был применен для улучшения механических свойств сварных соединений пластин из алюминиевого сплава 7075-T6, полученных сваркой трением [8]. В [9] приводится пример существенного улучшения свойств углеродистой стали с 0,16 % углерода путем проведения двух циклов с нагревом 910 °С и принудительным охлаждением на воздухе. Циклическая термообработка применялась даже для вольфрамовых сплавов, что дало улучшение ударной вязкости [10].

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. В настоящей работе эти методы рассматриваются с позицией их использования в условиях изготовления различных деталей сельскохозяйственной техники. Попытаемся повысить абразивную износостойкость стальных изделий, работающих в условиях абразивного износа, термической обработкой с двойной фазовой перекристаллизацией с использованием нагрева до экстремальных температур и циклической закалкой с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ).

**MECHANICS**

**Материалы и методика исследований** Для термической обработки с двойной фазовой перекристаллизации: исследовали образцы из средне- и высокоуглеродистых сталей 45, 65Г и У8 и для сравнения образцы из сталей 35, Ст5Гпс и технического железа. Техническое железо использовали как эталонный материал, а сталь Ст5Гпс как сталь, которую можно закалить на мартенсит при минимальном содержании углерода (0,28% С) [4]. В данном случае предварительная обработка заключалась в нормализации с температур нагрева от  $A_{c3}$  (или  $A_{c1}$ )  $+(30\div 50)$  °С до 1200 °С. Завершающая термическая обработка включала закалку с обычно принятых для каждой марки стали температур нагрева и отпуск при 200 °С.

Для получения предварительных данных термоциклическую обработку использовали образцы из стали 65Г. В качестве контрольных использовали образцы после обычного индукционного нагрева до 900 °С, охлаждение проводили в масле, отпуск при 180 °С. Образцы для исследования нагревали на различные температуры: 450, 570, 700 °С, количество повторяемости циклов равнялась до 7 раза. Температуры нагрева были выбраны исходя из существующих режимов термоциклической обработки. После каждого нагрева проводилось охлаждение на воздухе под вытяжкой (ожидаемый способ охлаждения при разработке промышленной технологии). После последнего нагрева 950 °С проводили закалку в масло и отпуск 180 °С. В целях регистрации структурных изменений при циклировании часть образцов исследовалась без окончательной закалки и отпуска. Для термической обработки использованы более современные установки индукционного нагрева ВЧГ2-100/066 (100 кВт, 66 кГц).

Для обеспечения равномерного прогрева образцов скорость нагрева при циклировании ограничивалась 110-120°/с. Для оценки температурно-временного фактора при проведении циклической закалки к образцу припаивалась термопара, подсоединенная к быстродействующему потенциометру для регистрации температуры.

Для обеих испытаний параметры структуры определяли методами световой микроскопии, электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа [11]. В частности, состояние тонкой структуры оценивали плотности дислокаций, определяемой по физической ширине рентгеновской линии интерференции (220).

Лабораторные испытания на изнашивание проводили при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы кварца на установке ПВ-7 [12]. Образцы имели размеры 20×20×5 мм. Абразивным материалом служил кварцевый песок пылевидный, который подавался порциями при помощи дозатора на трущуюся поверхность испытуемого образца и полиуретанового шнека. Выбор установки и способа испытания на абразивное изнашивание объясняется тем, что наши предыдущие исследования обнаружили существование подобия рядов износостойкости при испытания на машине ПВ – 7 и полевых испытаниях уплотнителя сошника хлопковой сеялки на полях ряда областей Узбекистана. Происходило совпадение порядка расположения материалов и количественных значений относительной износостойкости, полученных при изнашивании в условиях лабораторных и полевых испытаний [13]. Относительную абразивную износостойкость определяли оба испытаниях, как сравнение потерь массы эталонного образца. До и после испытаний образец взвешивали на аналитических весах ВЛА - 200М с точностью до 0,1 мг, повторяемость опытов равнялась 5.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение** Результаты исследований термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией с использованием нагрева до экстремальных температур показали, что с повышением температуры при нормализации наблюдается рост аустенитно зерна, но состояние тонкой структуры меняется по экстремальной зависимости. Максимум плотности дислокаций в  $\alpha$ -фазе наблюдается, если температура нагрева при нормализации была 1100 °С (рис.1).

В предыдущих работах было установлено, что при температуре нагрева около 1100 °С начинается растворение тугоплавких примесных фаз в аустените. Это в основном кислород и азотсодержащие фазы, для начала растворения которых характерна химическая

## MECHANICS

микронеоднородность твердого раствора. В этом случае при  $\gamma - \alpha$  - превращении плотность дислокаций повышается. Нагрев до температуры 1200 °С во время нормализации способствует гомогенизации аустенита, а при охлаждении после  $\gamma - \alpha$  - превращения плотность дислокаций снижается [14].

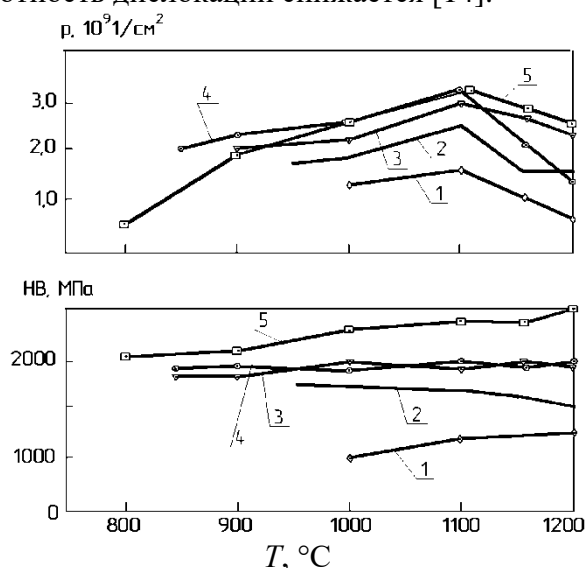


Рис. 1. Влияние температуры  $T$  нормализации на плотность  $\rho$  дислокаций и твердость  $HB$  технического железа (1) и углеродистых сталей Ст5Гпс (2), 35 (3), 45 (4) и У8 (5).

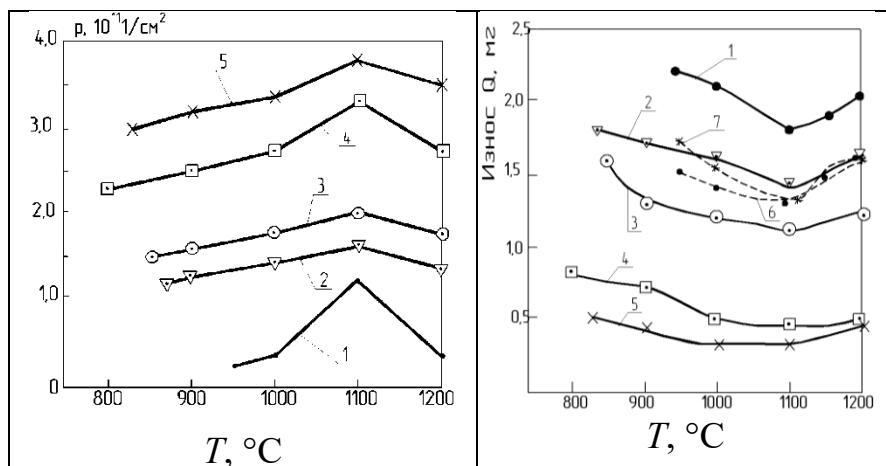


Рис. 2. Влияние температуры  $T$  предварительной нормализации на плотность  $\rho$  дислокаций после повторной закалки с температуры нагрева  $A_{c3} + (30 \div 50)$  °С (стали Ст5Гпс, 35, 45, 65Г) и  $A_{c1} + (30 \div 50)$  °С (сталь У8) и отпуска при 200 °С; стали: Ст5Гпс (1), 35 (2), 45 (3), 65Г (4) и У8 (5).

Рис. 3. Влияние температуры  $T$  предварительной нормализации на износ  $Q$  после повторной закалки и отпуска при 200 °С для сталей Ст5Гпс (1), 35 (2), 45 (3), У8 (4), 65Г (5) и стали Ст5Гпс без отпуска (6 и 7, где 7 - непосредственная закалка с указанных температур).

После завершающей термической обработки происходит измельчение аустенитно зерна, примерно одинаковое для каждой марки стали; однако плотность дислокаций остается разной. Происходит наследование элементов исходного субмикростроения, так как положение экстремума плотности дислокаций сохраняется (рис.2). Это достаточно сильно влияет на абразивную износостойкость при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы (рис.3).

Если предварительную нормализацию проводили с температуры 1100 °С, то уменьшение износа было достаточно большим от 20 до 50% для сталей в низкоотпущенном состоянии. Закалка без отпуска может дополнительно

повысить износостойкость сталей. В наших опытах часть образцов из стали Ст5Гпс после завершающей закалки не подвергали отпуску, а часть образцов закачивали с разных температур и также без отпуска. Из рис. 3 видно, что износ стали Ст5Гпс после закалки без отпуска заметно уменьшился (до 30%). Таким образом, предварительная подготовка структуры проведением нормализации с экстремальной температуры нагрева после завершающей термической обработки обеспечивает повышение абразивной

износостойкости до 50%. Закалка по экстремальным режимам без отпуска дополнительно повышает износостойкость.

Циклический нагрев образцов стали 65Г с последующим охлаждением на воздухе способствует сфероидизации исходно пластинчатой структуры стали. Особенно четко эта картина наблюдается при нагреве стали в синкретической области температуры 450, 570 и 700 °С (табл.).

## MECHANICS

Уровень дефектности кристаллического строения стали 65Г после циклической обработки в интервале докритических температур мало зависит от температуры циклирования и количества циклов. Только нагрев выше критической температуры  $A_{c1}$  с последующим охлаждением на воздухе формировали менее равновесные структуру и повышенную дефектность кристаллического строения.

Таблица

Изменение свойства стали 65 Г после циклирования с последующим охлаждением на воздухе

№	Методы исследования	Количество циклов				
		1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл	5 цикл
Нагрев до 450 °С						
1.	Твердость, НВ	269	255	241	241	255
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии $\beta_{cp} \cdot 10^{-3}$ рад	9,87	9,45	9,69	9,27	9,88
Нагрев до 550 °С						
1.	Твердость, НВ	241	229	241	207	207
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии $\beta_{cp} \cdot 10^{-3}$ рад	9,1	9,59	8,71	8,3	8,3
Нагрев до 700 °С						
1.	Твердость, НВ	229	217	207	255	285
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии $\beta_{cp} \cdot 10^{-3}$ рад	9,88	8,72	9,3	12,5	12,8

Несколько иные результаты имеют место при проведении окончательной индукционной закалки и низкого отпуска. Образцы после различных вариантов термической обработки имели одинаковую микроструктуру, величину зерна и твердость (59-60 HRC), отличие имелось в уровне дефектности кристаллического строения (таблица). Из таблицы можно обнаружить некоторые преимущества при проведении 2-х-5 циклов при 450 °С. При других температурах предварительной циклической обработки уровень дефектности кристаллического строения получается либо ниже, либо этот эффект не стабилен (например, при 550 и 700 °С).

Наблюдаемые эффекты можно объяснить созданием условий для микропластической деформации из-за интенсивных теплосмен. Наличие второй фазы также способствует микропластической деформации из-за различия термического расширения фаз. Таким образом, происходит развитие дислокационной структуры, а повышенная температура ведет к полигонизации. Полигонизационная структура, хотя и не имеет высокий уровень дефектности кристаллического строения, обладает высокой термической стабильностью. При повтором нагреве, выше точки фазового превращения, полигонизованные структуры обеспечивают создание структур с высокой плотностью дислокаций.

При циклической обработке при температурах более 450 °С интенсивно проходит рекристаллизация и полигональных структур не образуется. Однако индукционная закалка после предварительной циклической обработки при 450 °С не дает существенного роста плотности дислокаций по сравнению с обычной индукционной закалкой. При одном уровне твердости разница физической ширины рентгеновской линии (220) достигает  $5 \cdot 10^{-3}$  рад.

Результаты испытаний на изнашивание согласуются с данными микро- и субмикроскопических исследований образцов. Это отличие и сказалось при испытаниях на абразивное изнашивание незакрепленного абразивного материала.

**МЕCHANICS****Заклучение**

1. Наследственность элементов исходной субструктуры при термической обработке с двойной фазовой перекристаллизацией позволяет формировать при окончательной термической обработке максимум плотности дислокаций. Максимальный уровень плотности дислокаций формируется, если первая фазовая перекристаллизация проводится с нагревом до экстремальной температуры (1100 °С).

Наблюдается взаимная зависимость между величинами абразивного износа при трении о незакрепленные абразивные материалы и плотность дислокаций закаленной стали.

При трении о незакрепленные абразивные материалы (кварцевый песок) термическая обработка стали по экстремальным режимам, может вдвое увеличить износостойкость по сравнению с термической обработкой по стандартным режимам.

Закалка малоуглеродистой стали Ст5Гпс без отпуска может дополнительно снизить величину износа до 30%, что объясняется протеканием динамического старения стали на трущиеся поверхности.

2. Циклический нагрев и охлаждение приводят к росту плотности дислокаций в стали. Уровень плотности дислокаций зависит от амплитуды и скорости температурных изменений.

Циклический нагрев – охлаждение в интервале температур 400 - 500 °С создает полигональную, термически устойчивую субструктуру. Наилучшие результаты получаются при импульсном циклическом нагреве.

Повторный нагрев под закалку проходит в условиях наследования элементов исходной субструктуры. Поэтому после закалки формируется структура с повышенной плотностью дислокаций. Наиболее высокая плотность дислокаций формируется при предварительном импульсном циклическом нагреве 450 °С - 3 цикла.

Импульсная циклическая закалка стали 65Г значительно увеличивает износостойкость до 30% в сравнении с обычной индукционной закалкой.

**References:**

- [1]. Biront V.S. Teoriya termicheskoy obrabotki metallov. SFU: ITSMiZ. – Krasnoyarsk, 2007. –234 s.
- [2]. Mukhamedov A.A. Heat treatment with double phase recrystallization for improving service properties of machine parts and tools // Heat treatment and technology of surface coating. VII Mejdunarodnyy kongress Termicheskaya obrabotka. 11-14 Dekabrya 1990 g. Moskva. S. 38–39.
- [3]. Garkunov D.N. Tribotexnika / D.N. Garkunov, E.L. Melnikov, V.S. Gavrilyuk. – M.: KNORUS, 2013. – 408 s.
- [4]. Berdiev D.M. Povishenie abrazivnoy iznosostoykosti staley termicheskoy obrabotkoy s predvaritelnoy podgotovkoy strukturi // Vestnik mashinostroeniya. Moskva. 2018. №9. S. 57 - 59.
- [5]. Evdokimov A.I. TSiklicheskaya zakalka stali XVG / A.I. Yevdokimov, M.G. Zelin, V.A. Korotkov // MiTOM, 2002. №9. – S. 33–34.
- [6]. Effect of cyclic heat treatment on microstructures and mechanical properties of directionally solidified Ti-46Al-6Nb alloy / Hong-ze FANG [and ot.] // Trans. Nonferrous Met. Soc. China 25 (2015) pp.1872 – 1880.
- [7]. Qiangfei Xia, S. N. Wang, Yong Wang, Lie Yuang. Effect of heating rate on the grain refinement of a TiAl alloy by cyclic heat treatment // Materials Science and Engineering: A Volume 300 issues 1-2. 28 February 2001. – P. 309-311.
- [8]. Boyazid S.M., Farhangi H., Asgharzadeh H., Radan L., Gnahramani A., Mirhaji A. Effect of cyclic solution treatment on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 7075 Al alloy // Materials Science Engineering A. Vol. 649. – 2016. p. 293-300
- [9]. Atanu Saha, Dipak Mondal, Koushik Biswas, Joydeep Maity. Microstructural modifications and changes in mechanical properties during cyclic heat treatment of 0,16 % carbon steel // Materials Science and Engineering: A. Vol. 534. February 2012. – P. 465-475.
- [10]. Metallografiya splavov jeleza. Spravochnik. Per. s nem. pod red. M.L.Brenshteyna. - Metallurgiya, 2005. – 248 s.
- [11]. Tenenbaum M.M. Soprotivlenie abrazivnomu iznashivaniyu. M.:Mashinostroenie, 1976. – 267 s.
- [12]. A.A. Muxamedov, B.K. Tilabov. Povyshenie iznosostoykosti detaley s tverdosplavnimi pokritiyami termicheskoy obrabotkoy // Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya. 2013. №12. S. 35–37.
- [13]. Berdiev D.M. Povishenie abrazivnoy iznosostoykosti staley // Texnika i texnologii mashinostroeniya // VI mejdunarodnaya konferentsiya, g. Omsk. 20-21 aprelya 2017. C. 3–8.