

УДК 622.234.573

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Рукович А.В., Рочев В.Ф.

Технический институт (филиал) СВФУ, Нерюнгри, e-mail: raul1975@mail.ru

Разработка месторождений россыпного золота в Южной Якутии осуществляется в основном открытым способом, реже подземным и дражным. Но открытый способ добычи полезных ископаемых имеет большое отрицательное влияние на экологическую среду, а шахтный способ отличается высокой трудоемкостью и дороговизной. В качестве альтернативы данным способам разработки россыпного золота предполагается использование метода скважинной гидродобычи. Использование скважинной гидродобычи создает благоприятные возможности по обеспечению охраны природы и безопасной работы. При применении способа скважинной гидродобычи отсутствуют: вскрышные работы, это позволяет сохранить в целостности культурный слой почвы; взрывные, погрузочные работы и автомобильные откатки, исключающие запыленность и загазованность атмосферы; ликвидируется тяжелый и вредный для здоровья людей труд. Метод скважинной гидродобычи требует еще серьезных научно-технических и опытно-конструкторских проработок для повышения его надежности и расширения области применения. Наиболее благоприятными объектами для скважинной гидродобычи по своим горно-геологическим условиям являются россыпные месторождения золота. В последнее время выявлены и разведываются все новые погребенные месторождения золота, залегающие на глубине от 40 до 250 м. Содержание в них металла нередко достигает десятков грамм на квадратный метр пласта, что делает эти россыпи весьма перспективными для отработки способом СГД. Запасы золота на этих месторождениях достигают нескольких десятков тонн. На фоне сокращения запасов для отработки открытым и дражным способом и больших технических трудностей, значительных капиталовложений и эксплуатационных затрат при подземной разработке талых погребенных россыпей, возрастают перспективы золотодобычи способом СГД. Исходя из вышеизложенного, изучение применения метода СГД в условиях Южной Якутии является актуальной научной задачей.

Ключевые слова: Южная Якутия, скважинная гидродобыча, россыпное золото, золотоносный район, мощность пласта, рудопроявления, концентрация

USING THE METHOD OF HYDRAULIC BOREHOLE MINING FOR PLACER GOLD DEPOSITS IN SOUTHERN YAKUTIA

Rukovich A.V., Rochev V.F.

Technical institute (branch) of NIFU, Neryungri, e-mail: raul1975@mail.ru

Mining placer gold in South Yakutia is carried out mainly in an open way, at least underground, and dredging. But the open mining method has a big negative influence on the ecological environment and mining method is characterized by high complexity and high cost. Alternatively, the methods of development of placer gold, is supposed to use the method of a borehole hydraulic mining. The use of a borehole hydraulic mining provides opportunities for the protection of nature and safe operation. In applying the method of hydraulic mining borehole no: Stripping, this allows you to keep the integrity of the cultural layer of soil, blasting, loading and truck haulage, eliminating the dust and fumes in the atmosphere; lifted heavy and harmful for people's health work. Method of hydraulic borehole mining still requires serious scientific-technical and experimental design study to increase its reliability and expand the scope. The most favorable objects for hydraulic borehole mining at its mining and geological conditions are placer gold deposits. Recently identified and are explored all new buried gold deposits lying at a depth of 40 to 250 m. the Content of metal is often up to tens of grams per square meter of the reservoir, which makes these deposits very promising for practicing the method of the hydraulic borehole mining. Gold reserves at these fields amount to several tens of tons. On the background of reduction of stocks for testing and dredging of open way and great technical difficulties, significant investments and operating costs in underground mining of melt of buried placers, increase the prospects of gold mining method of the hydraulic borehole mining. Therefore, the study of the application of the method of the hydraulic borehole mining in conditions of southern Yakutia is an actual scientific problem.

Keywords: South Yakutia, hydraulic mining by boreholes, placer gold, gold district, seam, ore indication, concentration

Разработка россыпного золота в Южной Якутии осуществляется в основном открытым, подземным и дражным способом. Но открытый способ добычи полезных ископаемых имеет большое отрицательное влияние на экологическую среду, а шахтный способ отличается высокой трудоемкостью и дороговизной. В замену данным способам разработки россыпного золота, предполагается использование метода скважинной гидродобычи [1–3]. Использование сква-

жинной гидродобычи создает благоприятные возможности по обеспечению охраны природы и безопасной работы. При применении способа скважинной гидродобычи отсутствуют: вскрышные работы, это позволяет сохранить в целостности культурный слой почвы; взрывные, погрузочные работы и автомобильные откатки, исключающие запыленность и загазованность атмосферы; ликвидируется тяжелый и вредный для здоровья людей труд.

Скважинная гидродобыча (СГД) является одной из физических геотехнологий, осуществляемых через скважины с помощью энергии воды, используемой для разрушения горных пород, доставки разрушенных пород к скважине и подъема их на поверхность [1–3].

Месторождения, где может применяться способ скважинной гидродобычи, представлены легко разрушаемыми породами, к которым относятся осадочные месторождения строительных и стекольных песков, золота, алмазов, олова, титана, фосфоритов, урана, мягкие бокситовые и марганцевые руды, зоны выветривания железистых кварцитов, месторождения угля и битуминозных песчаников и т.п.

Наиболее благоприятными объектами для скважинной гидродобычи по своим горно-геологическим условиям являются россыпные месторождения золота. Здесь пласт с содержанием ценного компонента состоит из легко разрушаемых песчано-глинистых пород. Россыпи золота обычно находятся в обводнённом состоянии, и это позволяет применять для выемки песчаных пород высокопроизводительное оборудование. Кроме того мерзлые россыпные месторождения имеют преимущество устойчивой кровли продуктивного пласта. Это позволяет извлекать значительные объемы песков. Покрывающие породы относятся к III–IV категории буримости, что делает относительно недорогим бурение по этим породам.

Все новые погребенные месторождения золота выявлены и разведываются в последнее время, они залегают на большой глубине. Содержание в них металла нередко достигает десятков грамм на квадратный метр пласта, что делает эти россыпи весьма перспективными для отработки способом СГД. Запасы золота на этих месторождениях достигают нескольких десятков тонн. На фоне сокращения запасов для отработки открытым и дражным способом и больших технических трудностей, значительных капиталовложений и эксплуатационных затрат при подземной разработке талых погребенных россыпей, возрастают перспективы золото-добычи способом СГД.

Исходя из вышеизложенного, изучение применения метода СГД в условиях Южной Якутии является актуальной научной задачей.

В изучение скважинной гидродобычи большой вклад внесли следующие исследователи: Аренс [1–3], В.К. Багазеев [4],

И.В. Британ [5], Н.Г. Валиев [6] и многие другие.

Метод добычи полезных ископаемых через скважины может успешно использоваться при разработке угольных и рудных месторождений [1–4, 11–15], титано-магнетитовых песков [6], а также при строительстве подземных резервуаров (для хранения нефти и т.д.) и холодильников [10].

Скважинная гидротехнология включает следующие процессы:

- гидроразрыв продуктивного массива напорными струями воды с формированием двух- либо трехфазной смеси;

- самотечное или принудительное транспортирование разрушенного (отделенного от забоя) твердого к зумпфу эксплуатационной скважины (подъемного аппарата);

- пульпоприготовление доставленной в зумпф горной массы для процесса всасывания;

- всасывание горной массы с учетом энергетических возможностей всасываемого потока и гидравлических характеристик отдельных кусков твердого материала в объеме горной массы;

- подача гидросмеси на поверхность с учетом возможностей подъемного аппарата, работающего в стесненных условиях эксплуатационной скважины;

- поверхностный напорный гидротранспорт двух-трехфазного потока [7, 8].

Чтобы связать воедино физико-геологические условия, технологию оборудования, то есть способы и средства осуществления процесса разработки, охватить их как единую проблему, необходима отработанная методика выбора оптимальных параметров технологии для разработки месторождений. Этим требованиям отвечает скважинная гидродобыча полезных ископаемых [9].

В технологии скважинной гидродобычи основные операции производятся с помощью воды. Это позволяет легко осуществить практически полную автоматизацию производственного процесса добычи, обеспечивает безопасные комфортные условия труда и высокие технико-экономические показатели производства.

Способ скважинной гидродобычи (СГД) используется для добычи полезного ископаемого в талых горных породах. Исходя из этого актуальным является использование метода СГД в условиях Южной Якутии, где распространена вечная мерзлота.

Основная добыча россыпного золота в Южной Якутии ведется на территориях Алданского, Нерюнгринского районов.

Верхне-Тимптонский золотоносный район

Известное с конца прошлого века россыпное золото в промышленном содержании присутствует в большинстве водотоков района. В течение нескольких десятков лет почти вся территория района была охвачена поисками и разведаны наиболее продуктивные россыпи, такие как Лебединый, Скобельцинский, Колбочи, Муравьевский, Окурдан, некоторые русловые, косовые и террасовые россыпи по долине р. Тимптон.

Более полусотни промышленных россыпных месторождений золота известны в районе к настоящему времени, большая часть из которых отработана.

Аллювиальный комплекс россыпей на территории золотоносного района получил первостепенное развитие – здесь выявлены косовые, русловые, долинные, террасовые, террасоувальные, россыпи участков перехвата (древних долин) и весьма типичны различные их сочетания. В количественном отношении преобладают долинные россыпи.

По мощности аллювиальных отложений долинные, террасовые и другие сложные типы россыпей близки, хотя надо отметить, что несколько больше она у террасовых и сложных типов месторождений. Одновременно значительное число долинных россыпей характеризуется небольшой мощностью отложений (до 4–4,5 м). По мощности перекрывающих пласт наносов, более компактными являются долинные россыпи с одновременным наличием многих месторождений с низкими значениями этого параметра (до 3 м). В террасовых и увальных россыпях мощность торфов колеблется в больших пределах и в целом несколько повышается.

По мощности пласта по всем типам россыпей расположен в более узком интервале значений, но значительно выше в террасовых россыпях и составляет в среднем 1,7–1,8 м, в то же время в долинных россыпях средняя мощность пласта около 1 м или несколько больше. По содержанию более высокими значениями характеризуются русловые, террасовые, увальные россыпи (от нескольких десятков г/м³ до нескольких сотен г/м³). По пробности золота ясно выраженных закономерностей по морфогенетическим типам россыпей не наблюдается. Проявляются участки как пониженной пробности на фоне более высоких значений, так и обратные взаимоотношения.

Все рудопроявления, известные на изученной площади, находятся возле золотых россыпей: непосредственно в днищах золотоносных речных долин (иногда в «головках» россыпей) и на водораздельных площадях. Близ рудопроявлений размещаются небольшие элювиально-делювиальные россыпи с промышленными концентрациями металла, связанные с рудными зонами (Речное II, Гнейсовое и др.). Известны рудные тела (золотоносные жилы) в «плотиках» россыпей по ручьям Скобельцинский, Холодникан, Северикан; по реке Иенгра (проявление Маристое и др.).

Пространственные связи россыпей золота и рудных коренных месторождений, соотношения их запасов и ресурсов обусловлены длительным и сложным взаимодействием множества природных факторов, из которых наиболее действенными являются: величина среза коренного источника, степень благоприятности геоморфологической обстановки, особенности коренных источников (размеры и морфология, продуктивность и характер золота). Тесная пространственная связь россыпей с коренными источниками, вероятно, характерна для районов малого послерудного среза, где поступление металла в рыхлые отложения началось в недавнее время. В районах большого среза рудные источники могли быть смыты полностью или частично, а оставшиеся тела сейчас располагаются довольно независимо от россыпей, может быть, на значительных расстояниях. Возможно также, что многие россыпи образованы за счет слабоминерализованных зон с мелкими непромышленными рудными телами при их длительном разрушении и перемыве содержащих частицы металла выветрелых рыхлых пород.

Однако особенно богатые россыпи, вероятно, сформированы при обязательном участии богатых рудных зон. Только богатые и локальные коренные источники, по видимому, могут дать в россыпи скопления самородков и участки с ураганскими содержаниями золота. Поэтому по размещению аномально богатых россыпей и их участков можно судить о размещении рудных зон, полей и отдельных тел. В региональном плане россыпные узлы адекватно указывают на одноранговые территории с золоторудной минерализацией.

В целом отчетливо локализован в пределах гравийно-галечного горизонта аллювия промышленный приплотиковый пласт.

Плотик россыпи представлен дресвяно-щебнистым элювием архейских пород – гранитогнейсов, реже гранитов. Поверхность плотика как в продольном, так в поперечном разрезе довольно ровная, без значимых перепадов по высоте. В поперечном профиле величина западин в плотике, как правило, не превышает 0,8–1,2 м. Проникновение золота в плотик в промышленных концентрациях не превышает 0,4–0,8 м, а в большинстве случаев подошва промышленного пласта ложится непосредственно на элювий.

Центрально-Алданский золотоносный район

Для большинства водотоков изученной площади характерно наличие россыпного золота, и зачастую его содержание достигает промышленных концентраций.

Из всего многообразия геолого-промышленных типов россыпей ЦАР на площади работ исключительным распространением пользуются аллювиальные долинные, реже террасовые россыпи, мелкозалегающие и мелкие по крупности (< 1,0 т).

Элювиально-склоновые россыпи позднего плейстоцена-голоцена не имеют широкого распространения и обычно обладают небольшими запасами. Единичные мелкие россыпи разрабатывались на водоразделе Орто-Сала-Незаметный, в верховьях ручьев Орочен и Механический на Ороченском увале.

Проллювиально-делювиальные и проллювиально-аллювиальные россыпи. Сюда отнесены россыпи толщ слабо дифференцированной аккумуляции с рассеянной золотоносностью. Это так называемый куранахский тип глубокозалегающих до основного этапа россыпеобразования. Разведана и отработывается уникальная по своим параметрам россыпь долины р. Бол. Куранах от устья руч. Сосновый до устья реки (20 км), а также проведена предварительная оценка подобной же россыпи в верховьях р. Томмот.

В общем балансе запасов россыпи подобного типа несмотря на свою редкость являются вторыми по значимости после аллювиальных.

Аллювиальные россыпи. В количественном отношении и по общему потенциалу доминируют. В большинстве относятся к мелкозалегающим россыпям (2–10 м). Это как небольшие, так и протяженные, со значительной шириной и мощностью пласта долинные, реже террасовые россыпи. Длина некоторых россыпей достигает 30–80 км (Селигдар, Орто-Сала, Бол. Куранах, Том-

мот) при ширине до 400–500 и более метров. Суммарные учтенные запасы этих четырех россыпей составляют около 65% от их объема по району, а вместе с россыпями притоков – до 86%.

Техногенные россыпи. На территории ЦАР техногенные россыпи включают в себя практически все морфогенетические типы россыпей, среди которых резко преобладают аллювиальные и ложковые месторождения. В течение последних 30–40 лет техногенные целиково-остаточные россыпи играют большую роль в общем балансе разведанных промышленных запасов. Целесообразность переоценки техногенных россыпей определяется периодическим снижением кондиционных лимитов, внедрением высокопроизводительной землеройной техники, совершенствованием технологии извлечения металла.

Примерами техногенных остаточных целиковых россыпей являются россыпи рек Селигдар, Орто-Сала, Бол. Куранах, руч. Амурский.

Показатели последних лет показывают снижение объема добычи из россыпных месторождений традиционными способами. Россыпная золотодобыча традиционно связана с удаленностью территорий, отсутствием инфраструктуры, высокой зависимостью от погодных условий, сезонностью работ, с месторождениями, имеющими небольшие промышленные и прогнозные запасы золота.

Поэтому перспективность использования технологии скважинной гидравлической добычи будет наблюдаться на небольших глубинах и при освоении и эксплуатации погребенных россыпей золота, залегающих на значительных глубинах.

Заключение

Исходя из вышесказанного можно прийти к выводу, что месторождения золота, пригодны для разработки способом скважинной гидродобычи и в Южной Якутии их очень много. Но большая часть их недостаточно разведана, так как эти месторождения непригодны для разработки традиционными способами (открытыми и подземным), в связи с их неэкономичностью, а могут отработываться только с помощью скважинной гидродобычи.

Метод скважинной гидродобычи требует еще серьезных научно-технических и опытно-конструкторских проработок для повышения его надежности и расширения области применения.

В условиях вечной мерзлоты широко распространены достаточно мощные толщи мерзлых грунтов, где можно использовать скважинную гидродобычу. Такой метод разработки приведет к незначительным нарушениям природной среды, обеспечит безопасные условия труда и позволит автоматизировать процессы размыва и выдачи грунта на поверхность, а также достичь высоких технико-экономических показателей.

Основные задачи, стоящие перед специалистами для освоения залежей россыпного золота при использовании метода СГД:

1. Значительно уменьшить абсолютную величину кап. вложений при освоении месторождений (по сравнению с традиционными способами).

2. Приблизить сроки ввода месторождений в отработку, а во многих случаях вести попутную отработку, начиная с любой стадии разведки.

3. Пересмотреть концепцию месторождений по рентабельности, пересмотреть технические проекты действующих карьеров и рудников, проекты их реконструкции применительно к СГД.

4. На стадии разведки производить подъем технологических проб весом от сотен кг до нескольких тысяч тонн.

5. Управляя горным давлением, управлять просадкой кровли. Использовать выработанное пространство для закачки в него экологически вредных отходов или отходов обогащения руд.

6. СГД не требует вскрышных работ, подготовительных площадок под шахты и другие тяжелые горные выработки, практически исключается нарушение природной среды, позволяет сохранить в целостности культурный поверхностный слой почвы, режим поверхностных и подземных вод. Отпадает необходимость проведения работ по рекультивации.

7. Отсутствие людей в забое. Управление процессом добычи – дистанционное с дневной поверхности. Отсутствие травматизма. Возможна полная механизация и автоматизация технологического процесса добычи.

Рассматривая перспективу скважинной гидродобычи полезных ископаемых, целью дальнейших работ будет проведение экспериментальных, опытных работ, построение математических моделей с оценкой возможностей применения данного метода для различных типов месторождений в зоне вечной мерзлоты.

Список литературы

1. Арене В.Ж., Гридин О.М., Крейнин Е.В., Небера В.П., Фазлуллин М.И., Хрулев А.С., Хчеян Г.Х. «Физико-химическая геотехнология». Учебник для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2010. – 575 с.

2. Арене В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д. и др. «Скважинная гидродобыча полезных ископаемых». Учебное пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 295 с.

3. Арене В.Ж., Хчеян Г.Х., Хрулев А.С. Методика опытно-промышленных исследований технологии скважинной гидродобычи // Маркшейдерский вестник. – 2010. – № 3. – С. 13–17.

4. Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Симисин Д.И. Физико-механическое обоснование гидравлического разрушения пород при скважинно-гидравлической разработке россыпных месторождений // Горный журнал. – 2015. – № 12. – С. 13–17.

5. Британ И.В. Состояние скважинной гидродобычи. Кризис идеи или недалёковидность? // Недропользование-XXI век. – 2013. – № 6 (43). – С. 46–51.

6. Валиев Н.Г., Багазеев В.К. Расчет параметров очистной выемки песков россыпей при скважинно-гидравлической добыче // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 13–16.

7. Дробаденко В.П., Малухин Н.Г., Вильмис А.Л. Проблемы и перспективы скважинной гидродобычи полезных ископаемых // Золотодобыча. – 2011. – № 155. – С. 17–19.

8. Ермаков С.А., Бураков А.М., Батугина Н. Поточная технология разработки и обогащения запасов погребенного россыпного месторождения золота в долине реки Большой Кураны (Якутия) // Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 21–27.

9. Замятин О.В., Маньков В.М. Мелкое золото в россыпях: проблемы оценки и извлечения // Горный журнал. – 2011. – № 4. – С. 22–26.

10. Стрельцов В.И., Волков Ю.И., Балашов А.Г., Стрельцова Т.П. Комплексное освоение недр способом скважинной гидродобычи // Горный журнал. – 2010. – № 7. – С. 33–36.

11. Ashok A. Large Hydraulic Direct Drives in Mining Operations / Engineering and Mining Journal. October 2015. – P. 52–56.

12. Australia. Alternative Mining Method for Deep Alluvial // Mining Journal. – 1982. – Vol. 299, № 7677. – P. 241.

13. Summer D. Recent advances in water jet Coal Mining // Colliery Gnard. – 1979. – № 9.

14. Technologie wydobycia kruszyw zwirowo-piaskowych spod wody. Koziot Witstaw, Machniak Lukasz, Cieplinski Andrzej. Prz. Gor. – 2011. – Vol. 67, № 7–8. – P. 207–214.

15. Yu-Ying Zhang, Yong-Wang Liu, Yi-ji Xu, Jian-Hua Ren. Drilling characteristics of combinations of different high pressure jet nozzles // Journal of Hydrodynamics. Ser. B. – 2011. – Vol. 23. Issue 3. – P. 384–390.

References

1. Arene V.Zh., Gridin O.M., Krejnin E.V., Nebera V.P., Fazlullin M.I., Hrulev A.S., Hchejan G.H. «Fiziko-himicheskaja geotehnologija». Uchebnik dlja vuzov. M.: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, izdatelstvo «Gornaja kniga», 2010. 575 p.

2. Arene V.Zh., Babichev N.I., Bashkatov A.D. i dr. «Skvazhinnaia gidrodobycha poleznyh iskopaemyh». Uchebnoe posobie. M.: Izdatelstvo «Gornaja kniga», 2011. 295 p.

3. Arene V.Zh., Hchejan G.H., Hrulev A.S. Metodika opytno-promyshlennyh issledovaniij tehnologii skvazhinnoj gidrodobychi // Markshejderskij vestnik. 2010. no. 3. pp. 13–17.

4. Bagazeev V.K., Valiev N.G., Simisinov D.I. Fiziko-mehaničeskoe obosnovanie gidravličeskogo razrushenija

porod pri skvazhinno-gidravlicheskoj razrabotke rossypnyh mestorozhdenij // Gornyj zhurnal. 2015. no. 12. pp. 13–17.

5. Britan I.V. Sostojanie skvazhinnoj gidrodobychi. Krizis idei ili nedalnovidnost? // Nedropolzovanie-XXI vek. 2013. no. 6 (43). pp. 46–51.

6. Valiev N.G., Bagazeev V.K. Raschet parametrov ochistnoj vyemki peskov rossypej pri skvazhinno-gidravlicheskoj dobyche // Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal. 2012. no. 1. pp. 13–16.

7. Drobadoenko V.P., Maluhin N.G., Vilmis A.L. Problemy i perspektivy skvazhinnoj gidrodobychi poleznyh iskopaemyh // Zolotodobycha. 2011. no. 155. pp. 17–19.

8. Ermakov S.A., Burakov A.M., Batugina N. Potochnaja tehnologija razrabotki i obogashhenija zapasov pogrebenogo rossypnogo mestorozhdenija zolota v doline reki Bolshoj Kurana (Jakutija) // Gornyj zhurnal. 2016. no. 1. pp. 21–27.

9. Zamjatin O.V., Mankov V.M. Melkoe zoloto v rossypjah: problemy ocenki i izvlechenija // Gornyj zhurnal. 2011. no. 4. pp. 22–26.

10. Strelcov V.I., Volkov Ju.I., Balashov A.G., Strelcova T.P. Kompleksnoe osvoenie neдр sposobom skvazhinnoj gidrodobychi // Gornyj zhurnal. 2010. no. 7. pp. 33–36.

11. Ashok A. Large Hydraulic Direct Drives in Mining Operations / Engineering and Mining Journal. October 2015. pp. 52–56.

12. Australia. Alternative Mining Method for Deep Alluvial // Mining Journal. 1982. Vol. 299, no. 7677. pp. 241.

13. Summer D. Recent advances in water jet Coal Mining // Colliery Guard. 1979. no. 9.

14. Technologie wydobycia kruszyw zwirowo-piaskowych spod wody. Koziot Witstaw, Machniak Lukasz, Cieplinski Andrzej. Prz. Gor. 2011. Vol. 67, no. 7–8. pp. 207–214.

15. Yu-Ying Zhang, Yong-Wang Liu, Yi-ji Xu, Jian-Hua Ren. Drilling characteristics of combinations of different high pressure jet nozzles // Journal of Hydrodynamics. Ser. B. 2011. Vol. 23. Issue 3. pp. 384–390.