

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 553.068.5:622.271.1

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И ОСВОЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РОССЫПЕЙ ПРИАМУРЬЯ

В. С. Литвинцев, Р. С. Серый, Т. С. Банщикова, П. П. Сас

*Институт горного дела ДВО РАН, E-mail: litvinzev@igd.khv.ru,
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

В техногенных образованиях золотороссыпных месторождений Приамурья (Дальний Восток России) определены минералы — спутники золота, относящиеся к группе попутных полезных компонентов. Учитывая комплексный характер техногенных отходов, обоснована необходимость учета и добычи попутных полезных компонентов на основе применения рациональных технологий.

Полезные попутные компоненты, техногенные образования, хвосты шлихообогатительных установок, продукты обогащения, тяжелые шлихи, титаномагнетит, ильменит, шеелит, циркон, серебро, платина

За весь период разработки россыпных месторождений только в Дальневосточном федеральном округе России скопилось несколько миллиардов кубических метров галечных, эфельных, гале-эфельных и торфяных отвалов. Особенность заключается в том, что содержание золота в них, являясь в основном кондиционным, зачастую превышает таковое в целиковых современных россыпях. По экспертным оценкам, суммарное количество золота во всех техногенных россыпных образованиях составляет 5022 т или 57 % от общего количества добытого золота за всю историю эксплуатации россыпей [1]. В условиях, когда снижаются разведанные запасы россыпной золотодобычи, техногенные россыпи становятся важным ресурсом укрепления минерально-сырьевой базы.

В развитие теории и технологии освоения природных и техногенных россыпных месторождений внесли значительный вклад многие исследователи [2 – 10]. Отсутствие интереса недропользователей к вовлечению в эксплуатацию объектов техногенных россыпей (галечные, эфельные отвалы, илоотстойники и т. п.) объясняется несколькими причинами. Одна из них — преобладание в данных объектах трудноизвлекаемого золота, поэтому традиционное обогатительное оборудование не обеспечивает необходимый уровень извлечения металла. Кроме того, недостаточно изучены морфологические характеристики техногенного золота в различных регионах, имеющие, как правило, свои особенности. Отсутствует объективная оценка потерь тонкодисперсного золота и, главное, не учитывается их комплексный характер и наличие *попутных полезных компонентов* (ППК).

Техногенные россыпные месторождения имеют весьма характерные особенности строения и размещения на земной поверхности в зависимости от первичного способа разработки природной россыпи, а это требует создания особых технологических процессов подготовки их к освоению.

В техногенных отвалах золотороссыпных месторождений Приамурья установлены в различных концентрациях минералы — спутники золота, относящиеся к группе ППК. Но изученность комплексной металлоносности россыпей в целом остается низкой. Вследствие этого в настоящее время трудно определить критерии и объемы возможного промышленного освоения ППК техногенных месторождений. В то же время результаты исследований показывают, что ресурсный потенциал техногенных россыпных образований, содержащих золото, другие ценные попутные минералы, в том числе и благородные (платина, серебро), могут быть весьма перспективны для освоения.

Проблемы оценки комплексных ресурсов техногенных россыпей и последующей их отработки весьма сложны, а их решение зависит от учета влияния многих факторов. На протяжении ряда лет в ИГД ДВО РАН выполнялись комплексные исследования по определению и оценке данных факторов. Отметим главные из них:

- выявление и учет генетических и ресурсных особенностей крупных техногенных объектов россыпей, технологии их освоения [11–14];
- поиск технологий и реагентов для максимального извлечения ценных компонентов (в частности, “упорных” форм золота) из техногенных россыпей, в том числе из иловых отложений [15–17];
- изучение морфологии труднообогатимого золота и перспективы его извлечения физико-химическими методами [18];
- установление влияния минерального состава шлюзовых концентратов на эффективность извлечения тонкопластичного и мелкого золота [16].

Существующая практика геологоразведки и постановки на баланс запасов или ресурсов россыпных месторождений в настоящее время ориентирована на учет основного мономинерала. Рекомендации по использованию шлихового комплекса и попутных ценных компонентов направлены лишь на учет и складирование хвостов обогащения [19].

В процессе изучения техногенных отвалов, образующихся при гидромеханизированной промывке песков, выполнено значительное количество анализов вещественного состава шлихов, представленных галечными и эфельными хвостами гидроэлеваторных приборов, дражными отвалами, накоплениями хвостохранилищ, хвостами *шлихообогатительных установок* (ШОУ). В концентратах шлихов большинства техногенных месторождений Приамурья установлена группа ценных компонентов, представляющих технологический и экономический интерес. В эту группу входят минералы железа, титана, циркония, олова, вольфрама, металлы платиновой группы, тантало-ниобатов. В целом для техногенных россыпей Приамурья в черновых концентратах, полученных при обогащении хвостов промприборов и ШОУ, в классах крупности $-1.0+0.2$ мм характерен общий металлоносный профиль минералов. Перечисленные в табл. 1 полезные компоненты составляют значительную часть объема шлихов мелких классов от 0.5 мм и менее.

Сведения о количестве накоплений попутных минералов в техногенных образованиях существенно различаются. В россыпях Уруша-Ольдойского золотоносного района (Верхнее Приамурье) содержание магнетита и титаномагнетита в магнитных хвостах по всем классам крупности составляет от 50 (+0.5 мм) до 80 % (–0.5 мм); содержание ильменита в гравитационных концентратах — 40 %, сфена, рутила — от 1 до 4 %. В Соловьевском золотороссыпном районе, в гравитационных дражных концентратах россыпи р. Уркима подсчитаны запасы наиболее часто встречающихся минералов, г/м³: титаномагнетита — 917, ильменита — 3927, граната — 7617, циркона — 3203, рутила — 141. В техногенной россыпи р. Семи (Кербинский прииск) ресурсы касситерита составляют 439 т, вольфрамита 669, ильменита и циркона 1318 т. В россыпи руч. Муриле (Тугуро-Чумиканский район) в концентратах промприбора содержание ильменита 5 %, магнетита — 20 %, циркона — до 60 %, анатаза, рутила, сфена — до 15 % [9].

ТАБЛИЦА 1. Содержание минералов в техногенных образованиях россыпей Приамурья, отн. %

Минералы, составляющие комплекс ПШК	Верхнее Приамурье		Среднее Приамурье				Нижнее Приамурье		Охотский район	Фадеевский рудный узел
	Соловьевский рудный узел		Софийский прииск	Прииск Херпучинский	р. Агда, хвосты ШОУ	Кербинский прииск	Северный Сихотэ-Алинь	Южный Сихотэ-Алинь		
	р. Джалинда, шлихи эфелей	р. Нагима, хвосты ШОУ	р. Ольга, шлихи эфелей	Западный карьер, эфели	р. Семи, хвосты ШОУ	руч. Болотистый	р. Золотая	Артель старателей Охотская		
Магнетит (титаномагнетит)	30.0	10.0	25.0	7.0	40-70.0	13.0	62.0	2.0	10.0	25.0
Хромит	0.3-0.5	—	—	—	2.5	—	—	20.0	—	5.0
Гематит	—	15.0	10.0	2.0	—	0.7	2.5	—	—	10.0
Ильменит	20.0	5.0	—	40.0	1.0	2.0	5.5	15.0	—	18.0
Сфен	2.0	—	—	—	0.3	—	—	0.7	—	—
Рутил	0.5	3.0	1.0	—	0.2	-	—	0.3	—	0.5
Анагаз	—	—	0.5	—	-	-	—	0.1	—	—
Гранат	5.0	10.0	0.5-3.0	3.0	8.5	0.5	0.5	2.5	2.0	2.0
Циркон	2-20.0	5.0	1.0	0.5	0.2	0.1	—	0.1	—	2.0
Касситерит	—	2.0	25.0	0.5-1.0	0.7	0.1	—	0.5	38.0	—
Вольфрамит, шеелит	0.1-0.3	—	0.3-10.0	5.0	1.5	0.3	—	—	19.0	1.0
Тантало-ниобаты	0.5-1.0	—	—	—	—	—	—	—	0.8	—
Топаз	0.2-0.7	—	0.3	0.1	0.5	0.05	—	—	—	—
Серебро	0.1	—	0.2	—	0.05	—	0.3	1.5	—	—
Платина	Знаки	—	—	—	—	—	0.1	0.3-0.8	Знаки	Знаки

Общепринятая методика количественной оценки прогнозных ресурсов и запасов техногенных россыпей, несмотря на уже более чем пятидесятилетний опыт их освоения, до сих пор не разработана [9]. Известное “Методическое руководство...” [20] не отражает особенности их образования, не содержит оценки ресурсного потенциала и рекомендаций по технологии их разработки. Недропользователи, добывающие россыпное золото, не всегда учитывают ресурсный потенциал получаемых концентратов, оценивая только золото.

Важное место в техногенных россыпях занимают попутные золоту благородные металлы — серебро и платиноиды. При обогащении песков на гидроэлеваторных приборах благородные металлы накапливаются в концентратах, а при дальнейшей доводке на ШОУ и золотоизвлекающей фабрике концентрируются с золотом в шлихах, готовых для пробирной плавки и дополнительно извлекаются на аффинажных заводах. Платина представлена в виде зерен ферроплатины крупностью 0.2 мм и менее, реже в виде включений в титаномагнетите и хромите. Серебро присутствует как в самородной форме (россыпи р. Нагима, р. Гайфон), так и в виде примеси в борните (россыпь Малая Нестеровка) либо в галените (руч. Медвежий). В табл. 2 приведены данные содержания благородных металлов в обогащенных концентратах из техногенных образований некоторых россыпей Приамурья. Массовые доли золота, серебра и платиноидов определены пробирно-атомно-абсорбционным методом анализа. Содержание благородных металлов в виде включений в минералы определялось на электронном микроскопе с энергодисперсионной приставкой.

ТАБЛИЦА 2. Содержание попутных благородных металлов в обогащенных концентратах из техногенных образований россыпей Приамурья

Содержание благородных металлов	Фадеевский рудный узел, россыпь Малая Нестеровка	Соловьевский прииск, россыпь р. Уркима, Верхнее Приамурье	Россыпь р. Нагима, Верхнее Приамурье	Россыпь р. Медвежий, Среднее Приамурье	Россыпь руч. Гайфон, Нижнее Приамурье
Платина, г/т	5.30 – 11.70	0.28	41.0	35.0	42.0
Палладий, г/т	1.39 – 3.02	—	0.39	6.4	8.2
Золото, %	2.47 – 4.56	0.25	2.4	2.2	0.25
Серебро, %	0.40 – 0.76	0.75	0.02	0.23	0.42

Исследователи, занимающиеся проблемами освоения техногенных золотосодержащих россыпей, отмечают, что технико-экономические расчеты рентабельности промышленной добычи ППК могут быть эффективными лишь на действующих крупных ГОКах, где перерабатываются большие объемы руды и песков. Накопления хвостов обогащения на ШОУ средних и мелких старательских артелей считаются недостаточными для извлечения не только ППК, но и золота [10].

Отметим, что формы минералов россыпных и коренных месторождений золота несколько различны. Различия заключаются в гранулометрии зерен минералов: в рудных месторождениях размерность частиц минеральных индивидов значительно меньше, чем в россыпях. Минералы — спутники золота — в россыпях в большей степени очищены от сростков с породой, имеют хорошо сохранившийся кристаллический облик, обладают окатанностью, минеральные формы легче определимы, чем их аналоги в золотосодержащих рудах коренных месторождений.

Важное место для перспективной комплексной оценки и эффективной добычи ППК отводится обогащению хвостов стационарных шлихообогатительных установок. Эти образования, находящиеся на территории деятельности приисков и старательских артелей, практически не

востребованы и перерабатываются частично только для дополнительного извлечения золота. Объемы хвостов ШОУ от общей массы техногенных образований незначительны, но содержания основного и сопутствующих минералов в десятки раз превышают таковые в отвальном комплексе. При обогащении на ШОУ получают отдельные качественные продукты. Например, в магнитные фракции извлекается 90 % и более чистого магнетита, титаномагнетита, хромита. В электромагнитной фракции концентрируются минералы: ильменит, брусит, сфен, рутил, а также гранат, вольфрамит, гематит и др. В тяжелых немагнитных шлихах накапливается золото, благородные металлы, касситерит, шеелит, циркон, тантало-ниобаты, корунд. Таким образом, при дополнительном обогащении концентратов гидроэлеваторных приборов и драг в ШОУ получают отдельные очищенные комплексы минеральных ППК, которые можно накапливать и использовать в качестве сырья на крупных комбинатах для получения различных металлов.

Комплексный состав техногенного сырья, формы нахождения полезных компонентов предусматривают сложные технологии, в том числе с применением химических реагентов, природных сорбентов, а также схемы с использованием современных обогатительных аппаратов и дополнительных методов очистки.

В соответствии с программой научных исследований и в рамках договора с ОАО «Соловьевский прииск» в ИГД ДВО РАН исследованы «лежалые» хвосты ШОУ, содержащие большой объем магнитной и электромагнитной фракций (до 30 %). Для обогащения использована схема цепи аппаратов обогатительного модуля с магнитно-флокуляционным комплексом МКТС (рисунок).

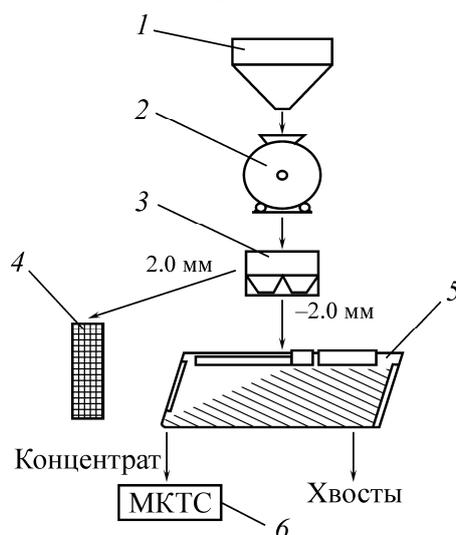


Схема цепи аппаратов обогатительного модуля для переработки хвостов ШОУ: 1 — бункер-питатель; 2 — шаровая мельница; 3 — отсадочная машина МОД-0.2; 4 — контрольный шлюз; 5 — концентрационный стол СКО-2; 6 — магнитно-флокуляционный комплекс МКТС

Хвосты ШОУ в количестве 3 т переработаны на экспериментальной установке с получением гравитационного концентрата. Концентрат отсадочной машины МОД-0.2 (камера № 2) дополнительно обогащен на концентрационном столе, и далее доводка концентрата стола осуществлялась на ферродинамическом сепараторе МКТС с применением магнитно-жидкостной сепарации. Полученные технологические продукты (шлиховое золото, хвосты магнитно-жидкостной сепарации, концентрат и хвосты стола СКО-2, электромагнитная фракция от концентрата стола) проанализированы на минеральный состав по методике минералогического анализа шлихов (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Минеральный состав продуктов гравитационного обогащения хвостов шлихообогатительных установок

Шлиховое золото		Хвосты магнитно-жидкостной сепарации		Концентрат СКО-2		Хвосты СКО-2		Электромагнитная фракция от концентрата СКО-2	
Минерал	Количество, отн. %	Минерал	Количество, отн. %	Минерал	Количество, отн. %	Минерал	Количество, отн. %	Минерал	Количество, отн. %
Золото	85	Магнетит	15	Магнетит	45	Магнетит	15	Магнетит	27
Сростки золота с кварцем, слюдой, пироксенном	3	Вольфрамит	15	Пирит	5	Хромит	2	Ильменит	70.5
		Галенит	5	Киноварь	7	Ильменит	10	Хромит	0.2
		Золото	5	Поликсен	2.5	Циркон	13	Циркон	0.3
		Серебро	2	Циркон	63	Халькопирит	1	Скрап металлический	2
		Платина	2	Рутил	1	Галенит	5		
Серебро	3	Киноварь	7	Вольфрамит	10	Арсенопирит	2.5	Сфен Пирит Киноварь Шеелит	Единичные знаки
Платина	1.5	Пирит	3	Галенит	0.5	Касситерит	3		
Примеси: шеелит, киноварь, хромит, галенит, халькопирит, арсенопирит, ильменит, циркон, рутил, касситерит, топаз	7.5	Хромит	3	Халькопирит	0.5	Киноварь	3		
		Ильменит	2	Гематит	3	Рутил	2		
		Циркон	4	Шпинель	1	Шпинель	1		
		Касситерит	3	Кварц	3	Гранат	1		
		Рутил	2.5	Золото	Знаки	Золото	0.5		
		Сфен	0.5			Серебро	1.5		
		Шпинель	1			Кварц, топаз	1		
		Тетраэдрит	11			Шеелит	Знаки		
		Топаз	5						
		Кварц	10						
Лимонит	6								
Скрап металлический	10								

Предлагаемая схема позволяет быстро и эффективно получать продукты гравитационного обогащения хвостов ШОУ и максимально сконцентрировать как благородные металлы, так и попутные компоненты. Полученные минеральные фракции содержат магнетит, ильменит, шеелит, циркон, касситерит, серебро, платиноиды. В основном продукте (шлиховое золото) содержание гравитационного золота составляет 85 %, серебра — 3 %, платины — 1.5 %. Ильменит наиболее полно извлекается электромагнитной сепарацией, его содержание в продукте составляет 70.5 %.

Магнетит и титаномагнетит при обогащении распределяются по всем продуктам обогащения от 45 % в концентрате стола до 15 % в хвостах магнитно-жидкостной сепарации и легко удаляются с помощью магнитной сепарации. Циркон (63 %) накапливается в концентрате стола. Платина в виде мелких зерен поликсена (–0.2+0.10 мм) обнаружена в тяжелой фракции концентрационного стола СКО-2 и в хвостах магнитно-жидкостной сепарации (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Количество платины, выделенное из основных продуктов обогащения хвостов шлихообогатительных установок ОАО «Прииск Соловьевский»

Показатель	Продукты доводки концентрата			
	Примеси шлихового золота	Хвосты магнитно-жидкостной сепарации	Концентрат стола	Хвосты стола
Масса анализируемой навески, г	10.0	12.0	30.0	100
Количество выделенной платины, мг	9.0	7.5	3.2	Не обнаружено

В 1 кг каждого из обогащенных продуктов количество платины колеблется от 106.7 мг в концентрате стола, 625 мг в хвостах магнитно-жидкостной сепарации, до 900 мг в шлиховом золоте и в итоге составляет 1.63 г.

Полученные продукты обогащения проанализированы спектральным методом. Содержание титана и вольфрама составляет более 1 %, хрома >1, меди 1–3, олова 1–3, циркония >1, серебра >1, платины от 0.1 до 0.8 %. Таким образом, баланс распределения минералов по продуктам технологического процесса позволяет сделать подсчет ППК, наличие серебра и платины совместно с золотом в готовом продукте повышает его ценность.

ВЫВОДЫ

Техногенные россыпные месторождения в большинстве случаев имеют промышленную ценность и перспективны для освоения.

Экономическая целесообразность и необходимость извлечения попутных полезных компонентов подтверждается соответствующими расчетами и специальными технологическими исследованиями. Учитывая комплексный характер минерального сырья, в техногенных образованиях следует предусматривать для достижения рентабельности максимально полное извлечение всех ценных компонентов.

Перспективными объектами разработки и комплексного извлечения полезных компонентов являются хвосты шлихообогатительных установок, которые должны стать первоочередными объектами изучения, учета и поиска рациональной технологии их освоения. При этом необходимо уточнить и унифицировать методику разведки и постановки на учет комплексных ресурсов техногенных россыпных образований в соответствии с генетическими условиями их формирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беневольский Б. И., Шевцов Т. П. О потенциале техногенных россыпей золота Российской Федерации // Минеральные ресурсы. — 2000. — № 1. — С. 14–19.
2. Шило Н. А. Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 576 с.
3. Трубецкой К. Н., Уманец В. Н. Комплексное освоение техногенных месторождений // Горн. журн. — 1992. — № 1. — С. 12–16.
4. Трубецкой К. Н., Чантурия В. А., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. — М.: Наука, 2010. — 440 с.
5. Чантурия В. А., Козлов А. П., Матвеева Т. Н., Лавриненко А. А. Инновационные технологии и процессы извлечения ценных компонентов из нетрадиционного, труднообогатимого и техногенного минерального сырья // ФТПРПИ. — 2012. — № 5. — С. 144–157.

6. **Лешков В. Г.** Разработка россыпных месторождений: учебник для вузов. — М.: Горная книга, Изд-во МГГУ, 2007. — 906 с.
7. **Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Алексеев В.С.** Процессы формирования продуктивного пласта техногенных россыпей благородных металлов // Тихоокеан. геология. — 2012. — Т. 31. — № 4. — С. 106–113.
8. **Быховский Л. З., Спорыхина Л. В.** Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 4. — С. 15–20.
9. **Флеров И. Б.** Техногенные россыпи — неогценный ресурс золота России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2004. — № 4. — С. 41–44.
10. **Сорокин А. П., Ван-Ван-Е А. П., Глотов В. Д., Белоусов Л. В. и др.** Атлас основных золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока и их горно-геологические модели / ред. А. П. Сорокин. — Владивосток; Благовещенск; Хабаровск; ДВО РАН, 2000. — 334 с.
11. **Литвинцев В. С.** О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 118–126.
12. **Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П., Банщикова Т. С.** Золотоносность илово-глинистых отложений техногенных россыпей Дальневосточного региона России // ФТПРПИ. — 2010. — № 5. — С. 91–98.
13. **Литвинцев В. С., Алексеев В. С., Пуляевский А. М.** Суффозионные процессы в технологии формирования обогащенных зон техногенных золотороссыпных месторождений // ФТПРПИ. — 2012. — № 5. — С. 157–163.
14. **Литвинцев В. С., Пуляевский А. М., Сас П. П.** Оптимизация параметров гидропотока на шлюзах гидроэлеваторного промывочного прибора // ФТПРПИ. — 2012. — № 6. — С. 134–139.
15. **Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П., Банщикова Т. С., Подшивалов В. С., Альков С. П.** Перспективы извлечения упорных форм золота из техногенных россыпных месторождений // Обогащение руд. — 2005. — № 5. — С. 42–45.
16. **Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П., Банщикова Т. С., Шокина Л. Н.** Влияние минерального состава шлюзовых концентратов на эффективность извлечения тонкопластинчатого и мелкого золота с применением физико-химических технологий // Изв. вузов. Горн. журн. — 2009. — № 2. — С. 8–15.
17. **Банщикова Т. С., Литвинцев В. С., Шокина Л. Н.** Проблемы извлечения золота из иловых отложений техногенных россыпей // ГИАБ. — 2007. — № 12. — Т. 8. — С. 234–242.
18. **Литвинцев В. С., Банщикова Т. С., Пономарчук Г. П., Нечаев В. В., Замбержицкий А. И.** Особенности вещественного состава и эксплуатации рудно-россыпного месторождения руч. Болотистый (Хабаровский край) // Маркшейдерия и недропользование. — 2011. — № 1. — С. 35–41.
19. **Быховский Л. З., Спорыхина Л. В., Цветкова К. В.** Техногенные месторождения России. Проблемы учета и освоения // Материалы XIV Междунар. совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. — Новосибирск, 2010. — С. 141–148.
20. **Методическое руководство** по изучению и эколого-экономической оценке техногенных месторождения // Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации. — М., 1994. — 51 с.

Поступила в редакцию 28/V 2015