

**канд. тех. наук, доцент Горовых О.Г., д-р биол. наук, проф.  
Саевич К.Ф.\***

**Ликвидация нефтяных разливов на твердой поверхности  
с использованием отходов Гомельского химического завода**

*ПВТ, Минский городской технопарк, ООО «Белспецкомплект», г. Минск  
\*Белорусский государственный экономический университет, г. Минск*

Показана возможность и эффективность создания заграждений из дигидросульфата кальция, полученного из фосфогипса – отхода Гомельского химического завода, при разливе нефти и нефтепродуктов на твердых поверхностях. Представлены данные по сорбционной емкости нефти дигидросульфатом кальция в зависимости от дисперсности и наличия гидрофобизатора.

*Ключевые слова:* разливы нефти и нефтепродуктов, локализация разливов, твердые поверхности, заграждение, сорбционные материалы, фосфогипс, дигидросульфат кальция

**Ph.D. (Tech.), Assoc. Prof. O.G. Gorovykh, Grand Ph.D. (Biol.), Prof.  
K.F. Saevich**

**Elimination of oil spill on solid surface using Gomel chemical plant  
waste**

*HTP, Minsk City Technopark, LLC «Belspetskomplekt», Minsk  
Belarusian State Economic University, Minsk*

The possibility and efficiency of creation of barriers from calcium dihydrosulfate obtained from phosphogypsum - a waste of the Gomel chemical plant, in case of oil spill on solid surfaces is shown. The data on the sorption capacity of oil with calcium dihydrogen sulfate, depending on the dispersion and the presence of a hydrophobizator, are presented.

*Keywords:* oil and oil product spills, solid surfaces, barriers, sorption materials, phosphogypsum, calcium dihydrogen sulfate

**Введение**

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (далее – ННП), возникающие при различных операциях с ННП, являются одними из наиболее опасных по своим последствиям, начиная от гибели людей и кончая нарушением функционирования экосистем. При разливе ННП

на любой вид поверхности (твердая, водная, покрытая растительностью и т.д.) всегда, что предусмотрено в каждом плане ликвидации аварийных разливов, первым этапом является локализация разлива с целью предупреждения его дальнейшего распространения и минимизации площади загрязненной поверхности.

Локализация нефтяного разлива подразумевает создание заграждений: защитных экранов, барьеров и т.п., препятствующих распространению нефтяного загрязнения [1]. Заграждения могут выполняться из различных материалов, основное требование к которым, – это незначительная скорость горизонтальной сорбции разлившихся ННП, чтобы загрязнитель быстро не проникал на другую сторону заграждения. Формирование заграждений должно проводиться в минимально короткие сроки, а именно на твердых поверхностях в течение 6 часов [2]. Первый этап очистки почвы от ННП, кроме формирования заграждения, может состоять из направления потока ННП в специально подготовленные приемники по нефтенакопительным и дренажным канавкам, оборудованные ям-накопителей (ловушек). Размеры ловушек, дамб и канав определяются условиями местности, шириной и интенсивностью потока нефти (далее – НП) [3].

В основном для создания заграждений используются земляные или песчаные насыпи с глиняным зубом [3], в зимний период возможно использование снежных заградительных дамб с обязательным уплотнением снега. Локализация разлива ННП также производится мешками с песком или установкой заграждений с использованием специальных разборных подпорных стенок (барьеров или щитов) или применением локализирующих бонов, изолирующих (многотрубчатых, гидробалластных), сорбционно-механических (сорбционно-удерживающих).

Барьеры для локализации разлива также могут создаваться из материалов, способных в той или иной мере к адсорбции разлившихся ННП – это могут быть природные как органические, так и неорганические сорбенты. Основная их ценность определяется доступностью, низкой стоимостью, простой технологией применения. Использование заграждений (обволочки) позволяет собрать часть продукта в чистом виде без необходимости извлекать его затем из сорбента.

У каждого вида материала, который используется при ликвидации разливов НП на твердых поверхностях, есть свои преимущества и недостатки. Поэтому при использовании тех или иных материалов надо исходить из области их применения и делать выбор, учитывая наиболее важные в конкретных обстоятельствах характеристики. Одним из таких материалов, которые можно использовать для создания барьеров и сорбции разлившихся ННП, является мелкодисперсный дигидрат сульфата кальция (далее – ДГСК).

*Цель исследования:* рассмотрение возможности использования ДГСК для создания заграждений при разливе ННП на твердые поверхности (асфальт, бетон, почва).

### **Основная часть**

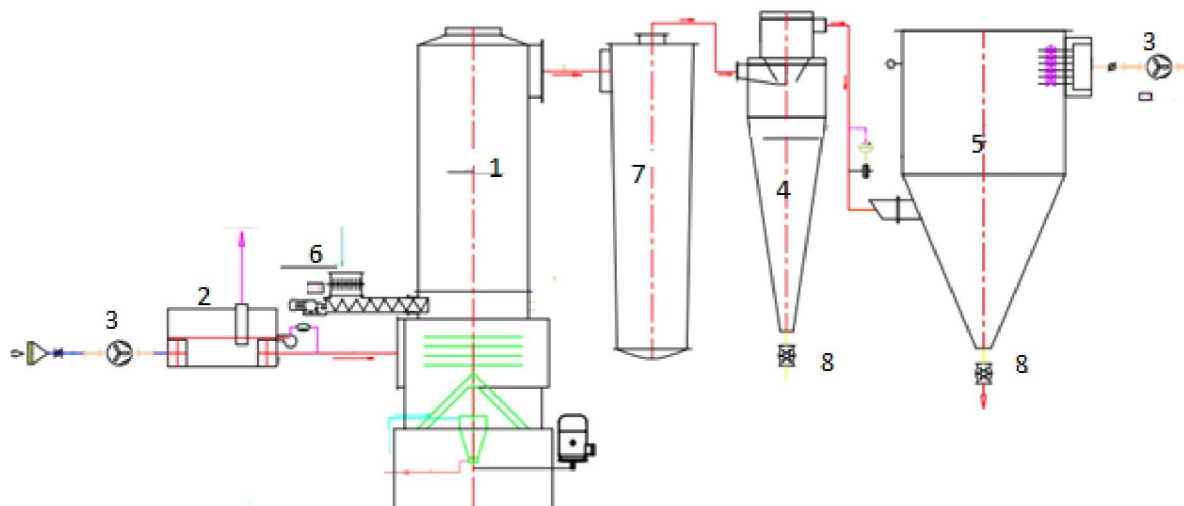
Рассмотрение ДГСК в качестве материала для изготовления обволочки места разлива было обусловлено его доступностью в Республике Беларусь, дешевизной и необходимостью использования отходов, накопленных за годы работы Гомельского химического завода.

ДГСК с содержанием основного продукта не менее 98 % можно получить из фосфогипса – отходов производства экстракционной фосфорной кислоты. На территории Гомельского химического завода за 50-летний период его функционирования в отвалах скопилось более 18 млн тонн отходов фосфогипса, их количество продолжает постоянно увеличиваться [4]. Ежемесячно количество образуемых отходов фосфогипса в Беларуси составляет около 70 тыс. тонн [5].

Ежегодное образование фосфогипса во всем мире оценивается от

100 до 280 М тонн [6]. Накопленные отходы фосфогипса являются источником загрязнения грунтов, поверхностных и подземных вод [7].

Для получения дигидрата сульфата кальция из фосфогипсовых отходов необходимо провести удаление сорбционной воды, так как влажность отвального фосфогипса составляет 13–28 %, и в таком состоянии он непригоден для быстрого и качественного формирования заграждения по периметру разлива. Удаление сорбционной влаги из фосфогипса осуществлялось во флеш-сушилке (рисунок 1).



1 – флеш-сушилка; 2 – топливная печь косвенного действия; 3 – воздуходувка; 4 – циклон; 5 – рукавные фильтры; 6 – питающий шнек; 7 – устройство досушки; 8 – выгрузные устройства

Рисунок 1. – Принципиальная схема флеш-сушилки

Влажность полученного ДГСК контролировали с помощью анализатора влажности Элвиз-2С при температуре нагрева 55 °С [8]. Дисперсность полученного после сушки дигидрата сульфата кальция опреде-

ляли ситовым методом с использованием вибростенда и набора сит: 0,045; 0,05; 0,08; 0,1 и 1. Дисперсность полученного ДГСК представлена в таблице 1.

Таблица 1. – Гранулометрический состав образцов дигидрата сульфата кальция

Точка отбора ДГСК	Размер сита				
	<0,045	<0,05	<0,08	<0,1	<1
Содержание, %					
С фильтров	65–72	25–30	3–5	–	–
Из циклона	20–35	45–50	10–12	3–10	–

*А. Испытания на возможность создания обваловки из ДГСК.*

Из порошка ДГСК формировали кольцевой барьер, внутрь которого помещали нефть (рисунок 2). Высота барьера – 15 мм. Влажность ДГСК – 0,02 %. Внутри кольца из ДГСК вливали нефть известной массы.

При поглощении нефти кольцевым заграждением из ДГСК, ее вновь доливали внутрь кольца. Об-

щий объем помещенной внутрь кольца нефти составил 41 г. Сорбционная емкость в данном испытании составила 0,7 г нефти/г ДГСК. Удержание нефти составило более 20 часов.

При аналогичном испытании с заграждения из песка время удержания нефти не превышало 1,5 минут, после чего добавляемая нефть вытекала с наружной стороны кольцевого барьера (рисунок 3).



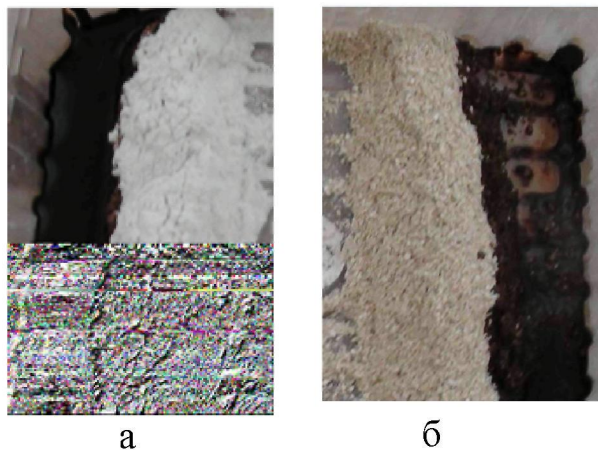
Рисунок 2. – Нефть внутри кольцевой обваловки из ДГСК



Рисунок 3. – Нефть внутри кольцевой обваловки из песка

Также в качестве обваловки разлива нефти использовали слой из вспученного вермикулита. Испытание показало, что вермикулит быст-

ро впитывает нефть (рисунок 4), что приводит к невозможности ее сбора внутри создаваемой обваловки.



а – ГДСК; б – вермикулит

Рисунок 4. – Барьеры из ДГСК и вермикулита, удерживающие нефть

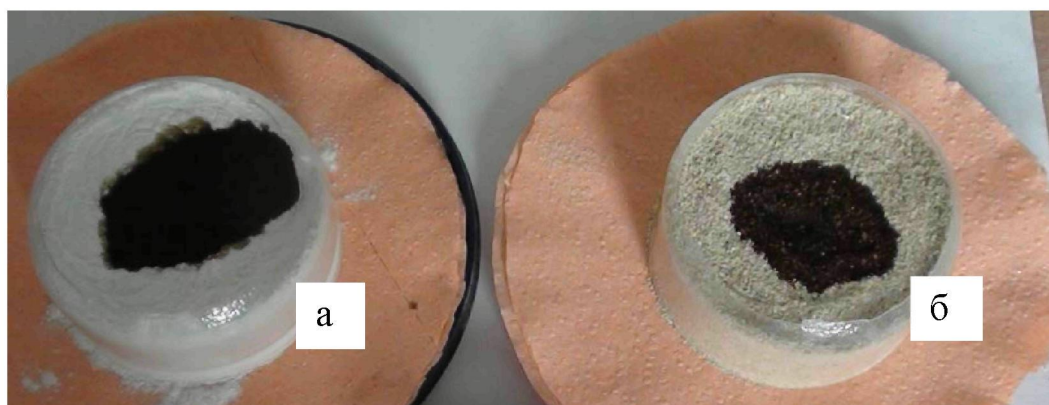
На фотографии видно, что нефть не впитывается ДГСК, а удерживается им, что дает возможность собрать ее механическим способом, в то время как справа та же порция нефти впиталась в вермикулит.

*Б. Определение сорбционной емкости ДГСК*

Так как ДГСК является мелкодисперсным материалом, то использовать стандартные методики, например [9], для определения статической сорбционной емкости (далее – СЕ) не представляется возможным. Поэтому определение СЕ

ДГСК проводили следующим образом.

В стакан помещали ДГСК или иной материал, затем наливали нефть (фиксировали ее массу) и по прошествии некоторого времени извлекали сформировавшийся комок насыщенного нефтью сорбирующего материала (рисунок 5). Измеряли массу сформировавшегося комка, состоящего из ДГСК, насыщенного нефтью. Увеличивали время контакта нефти с ГДСК, затем также извлекали из стакана материал, пропитанный нефтью, и вычисляли сорбционную емкость (таблица 2).



а – стакан с ДГСК; б – стакан с вермикулитом

Рисунок 5. – Определение сорбционной емкости ДГСК

Таблица 2. – Сорбционная емкость ДГСК

Сорбционный материал	Время контакта, мин	Сорбционная емкость, г нефти/г сорбента
ДГСК из циклона	6	0,25
	37	0,26
	4260 (71 ч)	0,14
ДГСК из циклона с гидрофобизатором (1,5 % стеарата Са)	45	0,19
	103	0,19
	237	0,16
ДГСК из фильтров	30	0,59
	2880 (48 ч)	0,68
	2880 (48 ч)	0,67

### Обсуждение полученных результатов

Проведенные лабораторные исследования показали, что создание заграждения из ДГСК возможно и более эффективно, чем использование заграждений из песка или нефтесорбентов. Так, при толщине барьера из песка, равной 2 см, время проникновения сквозь барьер составило 1,5 минут (результаты лабораторного эксперимента), время удержания разлившейся жидкости при заграждении из мешков, наполненных песком, уложенных в один ряд, при размерах мешка примерно 60 см, будет составлять не более одного часа, что недостаточно для сдерживания разлива ННП.

Применение же сорбентов не обеспечит максимальный сбор разлившегося материала в чистом виде и увеличит объем работ по извлечению ННП из сорбента и затраты на утилизацию или регенерацию сорбента.

*Пример гипотетической аварии и временных и материальных затрат на ее проведение с использованием ДГСК.*

В работе [10] рассматривается гипотетическая авария автоцистер-

ны-прицепа, перевозившего бензин объемом  $30 \text{ м}^3$ , с образованием площади разлива  $600 \text{ м}^2$  при толщине разлива 5 см (диаметр разлива  $28 \text{ м}^2$ ). По оценкам авторов, для ее ликвидации необходимо 3 единицы техники (самосвал, экскаватор и бульдозер) и 5 работников спасательной службы для создания земляного заграждения, снятия 20 см слоя почвы и вывоза ее на специальные полигоны, причем общий суммарный экологический ущерб с учетом восстановления плодородного слоя земли составит не более 100 тыс. рос. руб. (1352 \$).

Рассчитаем затраты на ликвидацию аналогичной аварии и при использовании ДГСК как материала для создания барьера при разливе углеводородных жидкостей.

Примем объем цистерны также  $30 \text{ м}^3$  с плотностью углеводородного материала  $800 \text{ кг/м}^3$ , масса разлившегося продукта составит 24 т. Длина барьера будет равна половине периметра разлива (для локализации разлива нефтепродуктов окружающей барьер создается только с одной из сторон разлива, со стороны уклона местности)  $L \approx 90/2 = 45 \text{ м}$ . При скорости формирования барьера

3 м/мин барьер будет создан одним оператором за 15 мин, при увеличении количества спасателей – пропорционально меньшее время.

Для создания барьера, равного 10 см (так как высота слоя разлившейся нефти равна 5 см) с углом склона 42 градуса (установлено авторами экспериментально), объем барьера составит  $0,10 \cdot 0,15 \cdot 45 = 0,675 \text{ м}^3$ .

Масса ДГСК для формирования заграждения равна  $m = V \cdot \rho = 0,68 \text{ м}^3 \cdot 950 \text{ кг/м}^3 \approx 645 \text{ кг}$ . Такая масса может быть доставлена к месту разлива автомобилем быстрого реагирования. Время создания барьера составляет 15 мин. По сравнению с временем локализации, указанным в [10] и равным 4 часа, оно сократилось 16 раз. Так как время удержания барьером разлившегося ННП составляет не менее 20 часов, это даст возможность производить сбор продукта до остаточной высоты, определяемой используемым оборудованием. Стоимость 645 кг ДГСК равна 322 бел. рублей (128 \$), что значительно ниже затрат при создании земляного обваловки-барьера и развертывания сил для откачки.

Если принять, что доставка ДГСК к месту разлива была произведена в течение 2-х часов, а время откачки разлитого нефтепродукта составило 3 часа, то с учетом времени создания барьера примем время проникновения в грунт 6 часов. Приняв коэффициент фильтрации в пределах 0,44 м/сут. [11], получаем, что за 6 часов проникновение вглубь грунта ННП составит 0,11 м. Тогда общий объем почвы, подлежащей восстановлению, составит  $66 \text{ м}^3$ . Данный объем можно снять в течение 5 часов экскаватором.

Приняв, что работает один экскаватор с производительностью  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ , и определив время его работы ( $T$ ) по формуле

$$T = \frac{V_{\text{грунта}}}{Q}$$

где  $V$  – объем снятого грунта,  $\text{м}^3$ ;

$Q$  – производительность экскаватора,  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,

получаем время работы, равное 3,3 часа ( $T = 66/20 = 3,3$  часа).

Тогда общее время ликвидации разлива составит

$$0,25 + 3 + 3,3 = 6,55 \text{ часа} \approx 7 \text{ часов.}$$

### Выводы

Представленные расчеты временных и материальных затрат на проведение ликвидации гипотетической аварии с разливом  $30 \text{ м}^3$  углеводородной жидкости также показали, что использование барьера из ДГСК можно рекомендовать для использования при проведении аварийно-спасательных работ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Королев, В.А., Ситар К.А. Методы очистки грунтов от нефтяных загрязнений. Сергеевские чтения. Выпуск 6. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития. / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной экологии и гидроэкологии (23-24 марта 2004). – М. : ГЕОС, 2004. – С. 267–270.
2. Постановление Правительства РФ от 15.04.2002 № 240.
3. Брусницына, Л.А. Причины и организационно-технические ме-

роприятия по сбору разлитой нефти, нефтепродуктов и порядок их применения на разных видах местности. Технологии гражданской безопасности, местности / Л.А. Брусницына, В.В. Куликов, О.А. Медведев // Технологии гражданской безопасности. – 2013. – № 3 (37). – С. 66–69.

4. Технологии переработки фосфогипса на высокообжиговые гипсовые вяжущие и сульфоалюминатный модификатор для растворов и бетонов / А.А. Мечай [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 5. – С. 64–69.

5. Репортаж с горхимзавода: здесь может вырасти лес или появиться горнолыжная трасса. Режим доступа: <https://gomelnews.onliner.by/2013/06/11/fosfogips>. Дата доступа: 31.08.2021.

6. Environmental impact and management of phosphogypsum (англ.) // Journal of Environmental Management. – 2009-06-01. – Vol. 90, iss. 8. – P. 2377–2386. – ISSN 0301-4797. – doi:10.1016/j.jenvman.2009.03.007.

7. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2013 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Нац. Акад. наук Беларуси, 2014. – 364 с.

8. «Элвиз-2С» анализатор влажности [Электронный ресурс] // Eliza.nt-rt.ru. – Режим доступа: <https://eliza.nt-rt.ru/images/manuals/Elviz.pdf>. – Дата доступа: 13.11.2020.

9. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов = Вугаль актываваны. Стандартны метады вызначэння сарбцыйных характарыстык адсарбентаў : ГОСТ 33627–2015. – Вед. РБ

01.09.17. – Минск : Госстандарт, 2017. – II, 11 с.

10. Малышев, Б.В. Оценка возможных последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в результате дорожно-транспортных происшествий. Обоснование оптимального состава сил и средств локализации и ликвидации последствий аварий / Б.В. Малышев, Н.А. Ефимов // Технологии гражданской безопасности. – 2009. – № 1–2. – С. 116–121.

11. Трацевская, Е.Ю. Устойчивость геологической среды к загрязнению нефтепродуктами / Е.Ю. Трацевская // Белорусско-российский научно-практический семинар. Технологии ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Тезисы докладов. Новополоцк, 1–2 июня, 2004 года. – Минск, 2004. – С. 79–81.

## REFERENCES

1. Korolev, V.A., Sitar K.A. Metody ochistki gruntov ot neftyanykh zagryazneniy. Sergeevskiye chteniya. Vypusk 6. Inzhenernaya geologiya i okhrana geologicheskoy sredy. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya. / Materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoeologii, inzhenernoy ekologii i gidroekologii (23-24 marta 2004). M. : GEOS, 2004. – S. 267-270.

2. Postanovleniye Pravitel'stva RF №240 ot 15.04.2002g.

3. Brusnitsyna, L. A., Kulikov, V. V., Medvedev, O. A. Prichiny i organizatsionno-tekhnicheskiye meropriyatiya po sboru razlitoy nefi, nefteproduktov i poryadok ikh primeneniya na raznykh vidakh mestnosti. Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti, mestnosti



// Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti. – 2013. – №3 (37). – S. 66-69.

4. Mechay, A.A., Novik, M.V., Baranovskaya, Ye.I., Sakovich, A.A., Minakovskiy, A.F. Tekhnologii pererabotki fosfogipsa na vysokoobzhigovyye gipsovyye vyazhushchiye i sul'foaluminatnyy modifikator dlya rastvorov i betonov. // Stroitel'naya nauka i tekhnika. – 2009, – №5, – S. 64-69.

5. Reportazh s gor khimzavoda: zdes' mozhет vyrasti les ili poyavit'sya gornolyzhnaya trassa. Rezhim dostupa: <https://gomelnews.onliner.by/2013/06/11/fosfogips>. Data dostupa: 31.08.2021.

6. Environmental impact and management of phosphogypsum (angl.) / Journal of Environmental Management. – 2009-06-01. – Vol. 90, iss. 8. – P. 2377–2386. – ISSN 0301-4797. – doi:10.1016/j.jenvman.2009.03.007.

7. Sostoyaniye prirodnoy sredy Belarusi: ekol. byul. 2013 g. / Pod red. V.F. Loginova. – Minsk : Nats. Akad. nauk Belarusi, 2014. – 364 s.

8. «Elviz-2S» analizator vlazhnosti [Elektronnyy resurs] // Eliza.nt-rt.ru. – Rezhim dostupa: <https://eliza.nt-rt.ru/images/manuals/Elviz.pdf>. – Data dostupa: 13.11.2020.

9. Ugol' aktivirovanny. Standartnyy metod opredeleniya sorbtsionnykh kharakteristik adsorbentov = Vugal' aktyvavany. Standartnyy metod vyznachennya sarbtsyynykh kharaktarystyk adsorbentaŭ : GOST 33627–2015. – Ved. RB 01.09.17. – Minsk : Gosstandart, 2017. – II, 11 s.

10. Malyshev, B. V., Yefimov, N. A. Otsenka vozmozhnykh posledstviy avariynykh razlivov nefi i nefteproduktov v rezul'tate dorozhno-transportnykh proisshestviy. Obosnovaniye optimal'nogo sostava sil i sredstv lokalizatsii i likvidatsii posledstviy avariy. // Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti, 2009. – №1-2. – S.116-121.

11. Tratsevskaya, Ye. YU. Ustoychivost' geologicheskoy sredy k zagryazneniyu nefteproduktami. // Belorussko-rossiyskiy nauchno-prakticheskiy seminar. Tekhnologii likvidatsii posledstviy avariynykh razlivov nefi i nefteproduktov. Tezisy dokladov. Novopolotsk, 1-2 iyunya, 2004 goda, Minsk, 2004. – S. 79-81.

