

УДК 556.535.8(282.255.434): 628.39

**ТОКСИЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ
ВЕРХОВИЙ БАСЕЙНА РЕКИ ЗАРАФШОН**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, Г.Б. Анварова

В бассейне реки Зарафшон были отобраны и проанализированы 39 образцов почв методом нейтронно-активационного анализа. Особое внимание было уделено токсичным металлам: As, Ba, Co, Cs, Hg, Ni, Sb, Se, Sr, V, Zn. Аномально большие концентрации мышьяка были зарегистрированы в суб-бассейне Фондарья. Сурьмы в почвах много в зонах сурьмяно-ртутных месторождений. При расчетах ПДК почв 25 % образцов почв в бассейне Зарафшон оказались чрезвычайно и высокоопасными, это почвы в районах добычи цветных металлов или геологоразведок.

Ключевые слова: река Зарафшон; Фондарья; токсичные металлы; геохимическая чистота почв; мышьяк; сурьма.

**ЗАРАФШОН ДАРЫЯСЫНЫН ЖОГОРКУ
БАСЕЙНИНИН ЖЕР КЫРТЫШЫНДАГЫ УУЛУУ МЕТАЛЛДАР**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, Г.Б. Анварова

Зарафшон дарыясынын бассейнинде нейтрондук-активациялык талдоо жүргүзүү методу менен жер кыртышынын 39 үлгүсү тандалып алынды жана аларга талдоо жүргүзүлдү. Уулуу металлдарга өзгөчө көңүл бурулду: As, Ba, Co, Cs, Hg, Ni, Sb, Se, Sr, V, Zn. Фон дарыясы суб-бассейнинде мышьяктын эң жогорку концентрациясы катталды. Сурьма-сымап кендери чыккан аймактын жер кыртышында сурьма абдан көп санда. Максималдуу жол берилген концентрацияны эсептөөдө Зарафшон дарыясынын бассейнинин жер кыртышынын үлгүлөрүнүн 25%ы өзгөчө кооптуу болуп чыкты, алар түстүү металлдарды казып алган же геологиялык чалгындоо иштери жүргүзүлгөн райондордогу жер кыртышы.

Түйүндүү сөздөр: Зарафшон дарыясы; Фондарыясы; уулуу металлдар; жер кыртышынын геохимиялык тазалыгы; мышьяк; сурьма.

**TOXIC METALS IN SOILS OF THE UPPER RICHES
OF ZARAFSHON RIVER POOL**

D.A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda, G.B. Anvarova

In Zarafshon River basin, 39 samples were taken and analyzed by neutron activation analysis. The special attention was paid to toxic metals: As, Ba, Co, Cs, Hg, Ni, Sb, Se, Sr, V, Zn. Abnormally high concentrations of arsenic were recorded in the Fondarya sub-basin. There is much antimony in soils in zones of antimony-mercury deposits. When calculating the maximum permissible concentration of soils, 25% of the soil samples in the Zarafshon basin turned out to be extremely and highly dangerous, these are soils in areas of non-ferrous metal mining or geological exploration.

Keywords: Zarafshon River; Fondarya; toxic metals; geochemical purity of soils; arsenic; antimony.

Почвы Центрального и Юго-западного Таджикистана по классификации относятся к Туранской фации, Южной почвенной провинции и Центрально-Таджикскому почвенному округу,

включающему Туркестанский, Зарафшонский, Гиссарский, Дарвазский и другие хребты [1].

Почвы в провинции весьма разнообразны, можно выделить основные пояса: альпийский

пояс 3200–3500 м над уровнем моря; субальпийский пояс 2400–3200 м; горно-лесной пояс 1500–2400 м по ущельям горных рек; ниже 1500 м встречаются небольшие площади крупнотравных полусаванн и горно-лесных коричневых почв; а в долинах широко представлены сероземы [1]. В западной части Зарафшонской долины распространены лессовые почвы [2]. В горных ущельях материнским основанием для почв служат террасы из алювиальных отложений и конусы выносов боковых притоков, а в долинах Зарафшона в основном лёссовые породы, достигающие глубины 100 м и ниже [2]. В горных ущельях зачастую единственно пригодными для земледелия почвами являются прибрежные почвы боковых притоков.

На элементный состав почв в горных ущельях оказывают влияние горные материнские породы, донные отложения рек и состав воды при наличии ирригации или затопления.

В долине реки Зарафшон развита металлургическая промышленность, основанная на добыче и переработке цветных металлов. Более 60 лет действует Анзобский горнообогатительный комбинат (АГОК). Тарорский золоторудный комбинат (ТЗРК). В последнее время ведутся работы на месторождениях Верхний Кумарг и Канчоч. АГОК специализируется на выпуске сурьмяно-ртутных концентратов, ТЗРК – на производстве золота, в Верхнем Кумарге и Канчоче скорее всего, будет осуществляться комплексная добыча золота, сурьмы, ртути и урана. Работы осуществляют китайские компании, которые практически закрыли доступ к информации.

Работа горнорудных предприятий приводит к загрязнению воды в регионе, также загрязняются донные отложения и почвы [3–5].

Данная работа посвящена изучению загрязнения почв токсичными металлами в горной части долины реки Зарафшон и оценке общего экологического состояния исследуемых территорий.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являются прибрежные почвы бассейна реки Зарафшон. Вдоль реки Зарафшон и ее боковых притоков было отобрано 39 образцов почв.

Бассейн реки Зарафшон был условно разбит на три суб-бассейна: Фондарья, Старая Матча и Зарафшон. Границами суб-бассейнов выбрано место слияния рек Зарафшон и Фондарья.

Почвы отбирались на основных притоках бассейна. К сожалению, не везде удалось отобрать образцы почв, так в низовьях рек Сарвода, Искандарья, Джиджикрут и до кишлака Анзоб почвы практически отсутствуют. Указанные районы относятся к сильнозасушливой зоне. Основанием для почв является песчаник, образованный во время выветривания окружающих скал. На окружающих реки скалах практически отсутствует растительность. Все почвы пригодные для земледелия привезены из других районов.

В работе использованы базы данных, полученные ранее в ходе выполнения эксперимента “НАВРУЗ” [6, 7].

Обсуждение полученных результатов.

Для данной работы были выбраны только токсичные элементы. Среди проанализированных элементов были: As, Ba, Co, Cs, Hg, Ni, Sb, Se, Sr, V, Zn [8].

По отрогам Гиссарского хребта проходит геохимический пояс длиной 300 и шириной 35 км. Пояс начинается в Пянджикенте и продолжается до Алайской долины в Кыргызстане [9]. Особенностью геохимического пояса является повышенная концентрация следующих элементов: As, Au, Ba, Hg, Sb [9]. Эти пять элементов повсеместно встречаются в Фанских горах. Распределение мышьяка в образцах почв суб-бассейна р. Фондарья показано на рисунке 1.

Особенно большие концентрации мышьяка были зарегистрированы в суб-бассейне р. Фондарья. В точке Канчоч Штольня концентрация мышьяка составила почти 10000 мг/кг, что составляет 10 г/кг, и это очень большая концентрация. Эта концентрация превышает кларк мышьяка в почве более чем в 5900 раз. Подобная высокая концентрация могла образоваться из-за полива местных полей шахтными водами из штольни. Выход этих вод показан на рисунке 2.

Параметр рН шахтной воды составил 2,7, что эквивалентно столовому уксусу. Подобная вода растворяет многие минералы и выносит их на дневную поверхность. Внизу штольни расположен участок земли (1–2 га), на котором мест-

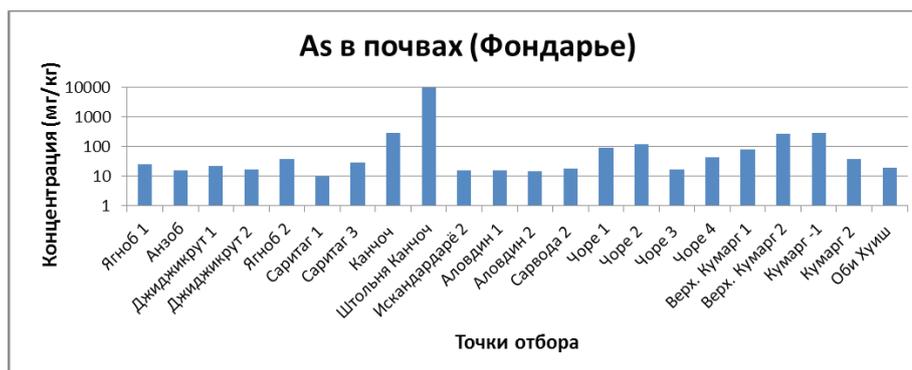


Рисунок 1 – Распределение мышьяка в образцах почв в суб-бассейне р. Фондарья



Рисунок 2 – Выход шахтных вод из одной из штолен Канчоча

ные жители выращивают траву на покос. Из-за отсутствия поливной воды используется шахтная вода, которая привела к серьезному загрязнению почв.

Ручей, вытекающий из штольни, протекает по арыку метров 200 и исчезает в земле. Вдоль грязного арыка растут деревья – в основном ивы и тополя.

Это загрязнение является антропогенным и нуждается в более детальном изучении. Среди природных загрязнений можно отметить повышенную концентрацию мышьяка в Канчоче, Чоре, Кумарге и в Верхнем Кумарге, где концентрации мышьяка превышают 100 мг/кг (почти 60 кларков). Эти территории являются зонами добычи цветных руд (Канчоч и Верхний Кумарг) или бывшими зонами геологоразведки (Чоре).

В суб-бассейне Горная Матча почвы более или менее чисты, а в суб-бассейне Зарафшон выделяются почвы на перевале Шахристан. В этих местах наблюдается выход интрузивных горных пород.

Сурьма в почвах показала несколько иную картину распределения. Сурьмы в почвах много в зонах сурьмяно-ртутных месторождений. Рекордная концентрация в 2750 мг/кг зарегистрирована в почвах Канчоч Штольня, что выше кларка в 5500 раз. Также сурьмы много в долине реки Канчоч, в точке Ягноб 2 и Джимджикрут 2. Все три точки входят в состав Джимджикруто-Скального сурьмяно-ртутного месторождения. Почвы в этих местах сильно загрязнены мышьяком и сурьмой.

Ртуть в почвах также распределена крайне неравномерно при кларке в почвах 0,083 мг/кг. Концентрация ртути в точке Штольня Канчоч составляет 1,14 мг/кг, что равно 14 кларкам. Также ртути много в Верхнем Кумарге, Канчоче и в пределах Джимджикрутского сурьмяно-ртутного месторождения. В Старой Матче ртути в почвах значительно меньше – не более 2 кларков. В суб-бассейне Зарафшон только две точки на Маргузорских озерах (Хазорчашма и Маргузор) показали наличие ртути выше кларка. Остальные почвы содержат ртути меньше кларка.

Проведены расчеты отношений концентрации элементов к их кларкам в почвах (КК отношение). Для многих микроэлементов кларки в почвах не определены – это золото, уран, торий, все редкоземельные элементы и др. [10, 11]. При этом можно воспользоваться кларками для земной коры [12]. КК отношение являются важными для геохимии, так как позволяют выявлять геохимические аномалии.

Результаты анализов показаны на рисунках 3, 4. Для анализа были выбраны аномальная

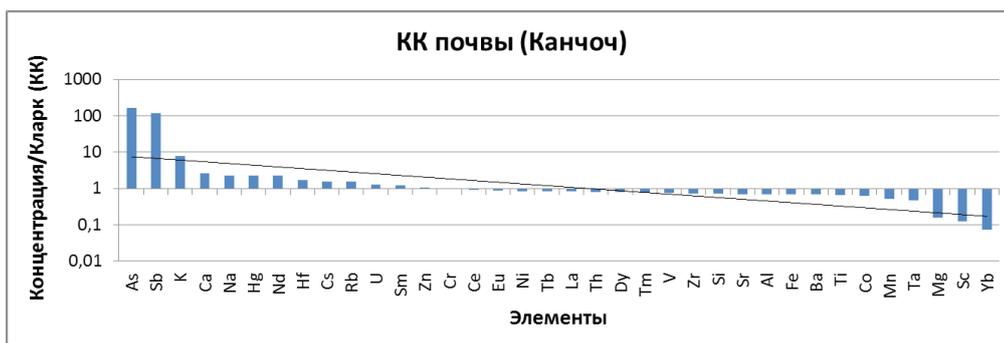


Рисунок 3 – Отношение концентраций элементов к их кларкам для точки Канчоч

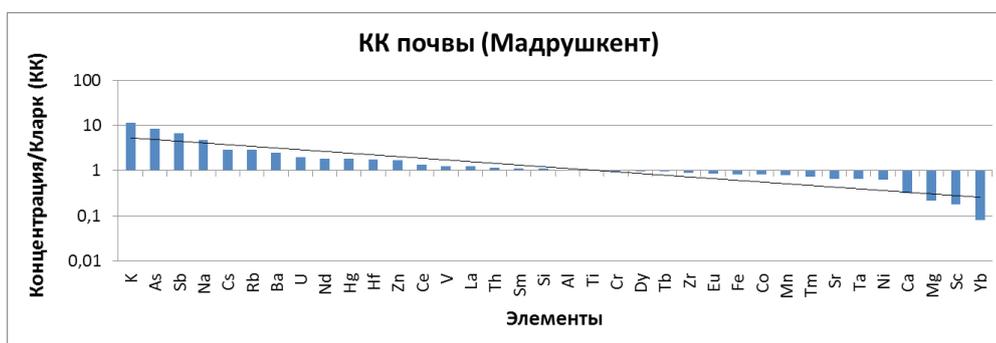


Рисунок 4 – Отношение элементов к их кларкам для точки Мадрушкент

зона (Канчоч) и фоновая зона с относительно низкими концентрациями элементов (Мадрушкент).

В почвах Канчоча даже на расстоянии более 1 км от объектов геологических разработок наблюдается повышенная концентрация токсичных элементов.

В суб-бассейне р. Фондаря почвы вокруг Саргоды выше угольных разработок можно считать чистыми (фоновыми).

В суб-бассейне р. Старая Матча не производят работ по масштабной добычи цветных металлов, и все почвы можно считать условно чистыми.

В суб-бассейне р. Зарафшон повышенное содержание тяжелых металлов наблюдается в Шахристане, Магияне, Саразме.

В нормативных документах существуют предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности [13]. В документе ПДК регламентированы только для 11 элементов, это: As (2), Mn (1500),

V (150), Pb (32), Sb (4,5), Hg (2,1), Pb+Hg (20+1), Co (5), Cu (55), Ni (85), Zn (100). В скобках приведены значения ПДК (в мг/кг) для валовых концентраций элементов в почвах [13].

В наших исследованиях были определены 9 элементов из указанного списка: As, Hg, Mn, V, Sb, Co, Cu, Ni, Zn. Для расчета воздействия каждого элемента на экосистему производят расчет $C_i / ПДК_i$, где C_i – концентрация искомого элемента и его ПДК_i.

В случае наличия нескольких токсичных элементов в почвах производится расчет суммарного ПДК (Z_c), То есть суммируются превышения ПДК для каждого элемента,

$$Z_c = C_i / ПДК_i + C_j / ПДК_j + C_k / ПДК_k + \dots$$

$$\text{или } Z_c = \sum_{i=1}^j C_i / ПДК_i,$$

где Z_c – суммарный ПДК; j – количество токсичных элементов, в нашем случае равно 9.

Результаты расчетов суммарных отношений концентрации элементов к их ПДК (Z_c) обобщены в таблицах 1, 2 и представлены на рисунках 5–7.

Таблица 1 – Суммарное ПДК (Z_c) для образцов почв по 9 токсичным элементам для 3 суб-бассейнов

| “Фондарья” | | | | “Старая Матча” | | “Зеравшон” | |
|----------------|--------|----------------|-------|----------------|------|-------------|------|
| Ягноб 1 | 20,3 | | | Ровут | 20,2 | Шахристон 1 | 39,0 |
| Анзоб | 14,5 | Чоре 1 | 54,3 | Мадрушкент | 13,9 | Шахристон 2 | 50,6 |
| Джиджикрут 1 | 15,0 | Чоре 2 | 76,1 | Худгиф | 14,4 | Шахристон 3 | 23,5 |
| Джиджикрут 2 | 17,7 | Чоре 3 | 13,0 | Риомут | 18,4 | Зарафшон 3 | 13,2 |
| Ягноб 2 | 44,0 | Чоре 4 | 30,7 | Зарафшан 1 | 12,7 | Аргуч 1 | 18,7 |
| Саритаг 1 | 12,7 | Верх. Кумарг 1 | 48,7 | Каллахона | 16,3 | Аргуч 2 | 13,2 |
| Саритаг 3 | 20,6 | Верх. Кумарг 2 | 150,8 | Обурдон | 21,1 | Оби Сара | 29,8 |
| Канчоч | 158,5 | Кумарг -1 | 154,2 | Среднее | 16,7 | Хазорчашма | 3,6 |
| Штольня Канчоч | 5529,7 | Кумарг 2 | 26,5 | Максимум | 21,1 | Маргузор | 13,9 |
| Искандардарё 2 | 14,9 | Оби Хуиш | 15,9 | Минимум | 12,7 | Зарафшон 4 | 17,4 |
| Аловдин 1 | 13,7 | Среднее* | 44,3 | | | Среднее | 22,3 |
| Аловдин 2 | 13,6 | Максимум* | 158,6 | | | Максимум | 50,6 |
| Сарвода 2 | 14,2 | Минимум | 12,7 | | | Минимум | 3,6 |

*Без учета Штольня Канчоч



Рисунок 5 – Суммарная ПДК для почв (Z_c) для суб-бассейна р. Фондарья

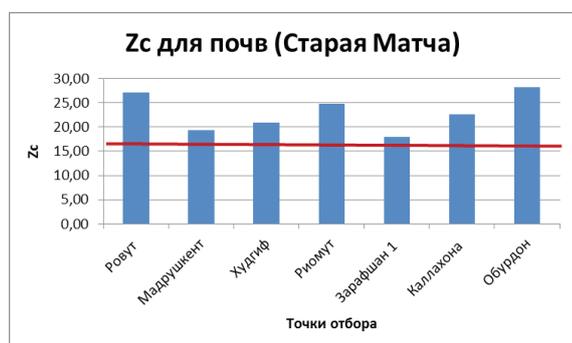


Рисунок 6 – Суммарная ПДК для почв (Z_c) для суб-бассейна Старая Матча



Рисунок 7 – Суммарное загрязнение почв (Z_c) для суб-бассейна Зарафшон

Таблица 2 – Классификация почв по степени загрязнения в бассейне реки Зарафшон

| Классификация почв | Zc | Пункт отбора | Комментарии |
|------------------------|----------|--|---|
| Чрезвычайно опасные | >128 | Штольня Канчоч Канчоч Верх. Кумарг 2 Кумарг 1 | Следует исключить из с/х оборота |
| Высоко опасные | 32,1–128 | Верх. Кумарг 1 Шахристон 1 Шахристон 2 Чоре 1 Чоре 2 Ягноб 2 | Использовать под технические культуры без получения продуктов питания и кормов |
| Умеренно опасные | 16,1–32 | Ягноб 1 Саритаг 1 Чоре 4 Ровут Мадрушкент Худгиф Риомут Зарафшан 1 Каллахона Обурдон Шахристон 3 Зарафшон 3 Артуч 1 Артуч 2 Маргузор Оби Сара Зарафшон 4 | Использовать под любые культуры при условии контроля качества продукции растениеводства |
| Допустимые загрязнения | < 16 | Остальные 17 участков | Использовать под любые культуры |

В соответствии с санитарными нормами загрязнения почвы $Z_c < 16$ являются допустимыми, $Z_c = 16,1–32$ – умеренно опасными, $Z_c = 32,1–128$ – высоко опасными и $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасными.

25 % проанализированных образцов почв оказались чрезвычайно и высокоопасными, это почвы в районах добычи цветных металлов или геологоразведок. Существующие сурьмяно-ртутные месторождения сильно влияют на состав почв в низовьях Джиджикрута, в Канчоче,

в Верхнем Кумарге. Кроме антропогенного воздействия, также сказываются и природные загрязнители, особенно в районах Ягноба, Саритага, Шахристана.

Умеренно опасными оказались более 33 % образцов, на этих почвах можно возделывать любые сельхозкультуры, но необходим контроль за чистотой сельхозпродукции.

В долине реки Анзоб, в Верховьях Джиджикрута (до угольных месторождений), на Искандеркуле, на Алоудиновских озерах, Сарводе, на Магузорских озерах почвы чисты и позволяют осуществлять любые виды сельскохозяйственной деятельности.

Заключение. В ходе проведения экспедиционных работ в бассейне реки Зарафшон в 2018 г. были отобраны 39 образцов прибрежных почв. Образцы были подготовлены к нейтронно-активационному анализу на реакторе ИБР-2 в г. Дубна, Московской области РФ. В течение осени–зимы 2018–2019 гг. был проведен ряд анализов. Проведена обработка баз данных по геохимии почв и интерпретированы полученные результаты.

Для более точного картирования чистоты почв необходимо произвести работы по геохимическому районированию сельхозугодий.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Лаборатории нейтронной физики им. И. Франка ОИЯИ за проведенный нейтронно-активационный анализ образцов.

Литература

1. Средняя Азия (физико-географическая характеристика) / отв. ред. Э.М. Мурзаев. М.: Изд. АН СССР, 1958. С. 132.
2. Finaev A.F. The model of duct aerosol accumulation in Tajikistan / A.F. Finaev // Geography Environmental Sustainability. 2014. № 03. V.07. P. 97–107.
3. Абдушукуров Д.А. Элементный состав почв вдоль русла реки Кафирниган / Д.А. Абдушукуров, Ш.Г. Камолов, З.В. Кобулиев, Л.Н. Осёнова // Наука о земле. М.: РУДН, 2016. № 3. С. 66–75.
4. Абдушукуров Д.А. Гидрохимия верховий реки Зеравшан. Часть 1: Тяжелые металлы, растворенные в воде / Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б. Мамадалиев // Вестник Таджикского

- Нац. ун-та. Сер. естественных наук, 1/5 (188), Часть 2. 2015. С. 210–216.
5. *Абдушукуров Д.А.* Гидрохимия верховий реки Зеравшан. Часть 2: Геохимия донных отложений и прилегающих почв / Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б. Мамадалиев // Вестник Таджикского Нац. ун-та. Сер. естественных наук, 1/5 (188), Часть 2. 2015. С. 283–288.
 6. *Barber D.S.* Radioecological situation in river Basins of Central Asia, Syrdarya and Amudarya according to the results of the international project “NAVRUZ” / D.S. Barber, B.S. Yuldashev, K.R. Radyrkhanov et. al. // NATO Science. Series IV. 2003. V. 33. P. 39–51.
 7. *Passell H.* The Navruz Project: Transboundary monitoring for radionuclides and metals in Central Asian rivers / H. Passell, D. Barber, D. Betsill, A. Littlefield, R. Matthews, A. Mohagheghi, S. Shanks, C. Yuldashev, U. Salikhbaev, R. Radyuk, A.A. Djuraev, An.A. Djuraev, I. Vasiliev, B. Tolongutov, V. Alekhina, V. Solodukhin and V. Pozniak // SAND Report. 2003.
 8. Токсичные металлы. URL: http://studopedia.ru/3_93793_toksichnie-metalli.html (доступ 12.05.2020)
 9. Геология Таджикистана, основные черты геологического строения и металлогении Таджикистана. URL: http://www.tajik-dateway.org/wp/sliding_menu_2/geologiya/ (доступ 12.05.2020)
 10. Кларки почв по Виноградову с добавлением / В.В. Гордеева и др. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кларковое_число. (доступ 12.05.2020)
 11. Тяжелые металлы в почвах. URL: http://www.gidrogel.ru/ecol/hv_met.htm (доступ 12.05.2020)
 12. *Rudnick, R.L. Gao S.* Composition of the Continental Crust: In: Treatise on Geochemistry. V. 3. Holland, H.D. and Turekian, K.K. Editors, Elsevier-Pergamon, Oxford-London. 2004 p. 1–64.
 13. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.7.2041-06.htm> (доступ 12.05.2020)