



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЫЕМКИ И
ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДРАГИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАПАСОВ**

Н. В. Мурзин, Б. Л. Тальгамер

Иркутский Национальный исследовательский технический университет

E-mail: murzinnv@istu.edu; talgamer@istu.edu, ул. Лермонтова 83, г Иркутск 664074, Россия

Оценены перспективы вовлечения в дражную разработку техногенных запасов и дана их краткая характеристика. Отмечены проблемы, связанные с повторной разработкой дражных полигонов, имеющих техногенные запасы с весьма невыдержанными параметрами и неоднородной структурой продуктивных отложений. Установлена необходимость совершенствования существующих методов расчета параметров дражных отвалов в условиях драгирования продуктивных отложений с непостоянным поперечным сечением. Предложен графоаналитический метод обоснования параметров дражных отвалов, который позволяет более точно оценивать вместимость выработанного пространства для размещения хвостов обогащения и заблаговременно принимать необходимые меры по предотвращению подэфеливания кормы понтона и подсыпки стакера.

Дражный способ разработки, техногенные запасы, драгирование, параметры выработки и дражных отвалов

**IMPROVEMENT OF METHODS FOR CALCULATING DREDGING AND
DUMPING PARAMETERS DURING TECHNOGENIC RESERVES DREDGING**

N. V. Murzin and B. L. Talgamer

*Irkutsk National Research Technical University, E-mail: murzinnv@istu.edu; talgamer@istu.edu,
ul. Lermontova 83, Irkutsk 664074, Russia*

The prospects of involving technogenic reserves into dragging are estimated and their brief description is given. The problems associated with the reworking of dredge landfills having technogenic reserves with very unstable parameters and a heterogeneous structure of productive deposits are noted. The need to improve existing methods for calculating the parameters of dredge dumps in the conditions of productive deposits with an unstable cross-section is determined. A graphic-analytical method for substantiating the parameters of dredge dumps is proposed, which allows assessing the capacity of the mined-out space for tailings arrangement more accurately and take the necessary measures in advance to prevent ephelic bedding of a dredge boat and stacker filling.

Dragging, technogenic reserves, dredging, parameters of production and dredge dumps

В настоящее время в общем количестве добываемого золота доля его добычи из россыпей неуклонно снижается. Так, например, если в середине XIX в. в мире (без учета России) добывалось около 90 % золота из россыпей, то к концу — уже меньше половины. В первой четверти XX в. она составила 15–20 %, в последней — 10–15 %, в настоящее время — всего несколько процентов. В России до революции из россыпей извлекалось 85 % золота, в 60-х годах XX в. — 70–80 %, в 1990-х — 72 %, в начале 2000-х — менее 60 %. В 2018 г. добыча золота из россыпей составила 28 % [1].

Основная причина снижения золотодобычи из россыпей — сокращение запасов, а также усложнение горнотехнических и климатических условий их эксплуатации. Новых россыпей с благоприятными условиями залегания и высоким содержанием полезных компонентов практически нет. Вместе с тем уже многие годы идет процесс увеличения объемов техногенных запасов. В них сосредоточены огромные запасы золота, которые по основным регионам золотодобычи составляют от нескольких сотен тонн (Забайкальский, Красноярский, Хабаровский, Приморский края, Амурская и Иркутская области) до тысячи тонн (Магаданская область) [2]. Общее количество золота в ранее отработанных россыпях оценивается в 3.3–5.0 тыс. т, что составляет не менее 18 % от общих запасов этого металла в россыпных месторождениях. При разработке техногенных россыпей действующими предприятиями запасов достаточно по разным оценкам в течение 15–70 лет [3–5]. Учитывая большое количество техногенных россыпей и низкие содержания в них ценных компонентов для их освоения требуется высокопроизводительное поточное оборудование, каким являются драги.

Во второй половине XX в. драгами в стране перерабатывалось 60–75 % песков. После многолетней дражной разработки россыпей образовалось огромное количество техногенных месторождений, значение которых постоянно возрастает из-за сокращения сырьевой базы предприятий, ухудшения горнотехнических условий залегания оставшихся целиковых запасов, повышения требований природоохранных органов. Дражный способ разработки россыпных месторождений характеризуется значительными потерями полезного ископаемого (по некоторым оценкам эксплуатационные потери в массиве составляют 30–45 %). Анализ техногенных месторождений золотодобывающих районов Российской Федерации показывает, что их формирование связано в первую очередь с потерями золота, которые при разработке россыпей в настоящее время составляют не менее 35 т в год [6]. Поэтому основные техногенные россыпи большей частью являются продуктом дражной разработки и в общем балансе техногенных продуктов на их долю приходится 60–80 % [4, 7].

Большую часть эксплуатационных потерь на дражных полигонах составляют потери в межшаговых и межходовых целиках, а также в плотике россыпи. Значительная часть этих потерь может быть взята при повторной разработке россыпи совместно с переработкой дражных отвалов, что достаточно успешно осуществляется на глинистых россыпях, где велики технологические потери. Несмотря на значительные запасы полезных ископаемых на старых дражных полигонах их вовлечение в эксплуатацию сдерживается рядом осложнений, связанных с повторным драгированием.

Драгирование техногенных россыпей, представленных отвалами с достаточно большой мощностью рыхлых отложений, сопровождается постоянным обрушением верхней кромки забоя. При этом протяженность осыпавшейся части забоя, по нашим наблюдениям, достигала 2/3 ширины забоя при толщине в плане до 3 м, т. е. практически на величину зашагивания 250-литровой драги. Процесс интенсивного обрушения верхней части забоя объясняется меньшим естественным углом откоса галечных отвалов (40–45°) по сравнению с формируемым драгой углом откоса верхней части забоя (60–80°), а также разрыхленным состоянием верхнего слоя пород, в том числе из-за предварительной планировки поверхности. При увеличении высоты разрабатываемых дражных отвалов до 15–30 м угол драгируемой верхней части забоя увеличивается до 85–90°, а объемы обрушения могут достигать половины драгируемой горной массы.

При драгировании отвалов периодически будет меняться гранулометрический состав пород, что обусловлено отдельным складированием гали и эфелей. При этом драгер должен обеспечить максимальное наполнение черпаков крупнозернистыми фракциями ($K_n = 1.0–1.2$) и допустимое по условиям обогащения наполнение черпаков эфелями ($K_n = 0.4–0.8$).

Указанные факторы при использовании слоевой выемки песков драгой приводили к большей неравномерности нагрузки на черпаковую цепь и разной степени наполнения черпаков. Регулирование загрузки обогатительного оборудования путем периодического подъема и опускания черпаковой рамы по мере ее перемещения вдоль забоя вызывали дополнительные потери времени и снижение производительности драги.

На отработанных ранее дражных полигонах перспективным является вовлечение в эксплуатацию запасов, оставшихся в бортах дражных разрезов. По оценке специалистов, потери в бортах (в том числе при заоткоске, поворотах драги) не велики и не превышают нескольких процентов [4]. Однако при этом не учитывается неточность оконтуривания запасов между буровыми линиями. Кроме того, потери в бортах связаны и с невозможностью отработки части запасов из-за увеличения доли мерзлых пород по мере удаления от современного русла реки. Довольно часто в бортах остаются и забалансовые запасы, которые через некоторое время становятся балансовыми.

Вовлечение в повторную отработку техногенных запасов в бортах разрезов также связано с рядом трудностей. Одной из них является большой диапазон изменчивости их поперечных параметров, что осложняет процесс выемки запасов и последующее отвалообразование. Складирование отвалов осложняется тем, что ширина дражного полигона (рис. 1а) и мощность песков (рис. 1б) изменяются в широком диапазоне, тогда как место складирования хвостов (выработанное пространство) достаточно удалено от места выемки песков. При отработке широкого забоя (например, по буровой линии БЛ1) хвосты обогащения складировются в узкую выработку (БЛ2 – БЛ3). При выемке более мощных и глубоко залегающих запасов (БЛ3) складирование песков осуществляется в относительно мелкую выработку (БЛ4). Таким образом, параметры выработки в месте отсыпки отвалов часто не обеспечивают необходимую вместимость для складирования пород, драгируемых в забое с большим поперечным сечением.

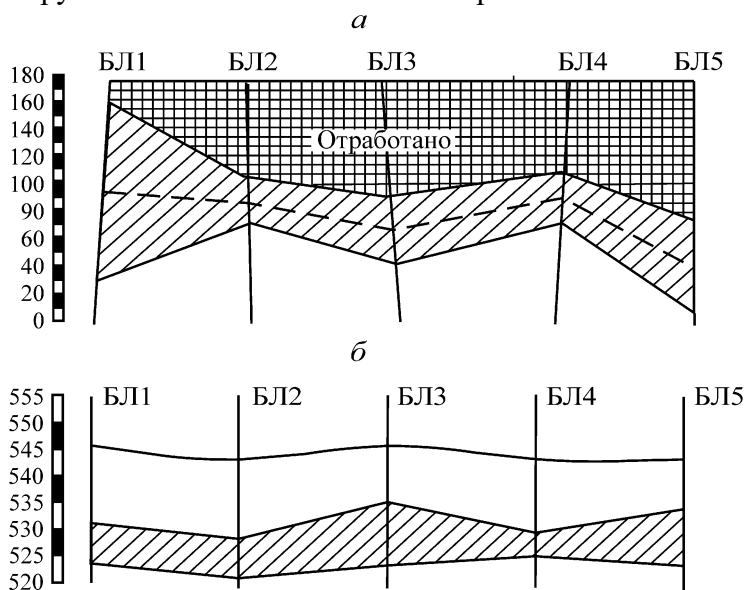


Рис. 1. Контур запасов россыпи вдоль борта в плане (а) и в разрезе по оси хода драги (б)

Кроме этого, техногенные запасы в бортах выработок имеют более заметный поперечный уклон и существенные различия мощностей продуктивного пласта по углам забоя (рис. 2).

В связи с изложенным при освоении техногенных отложений с весьма неравномерными поперечными параметрами необходимо оперативное управление процессами отвалообразования и маневрирования драги в разрезе, что возможно при усовершенствовании методики расчета параметров дражных отвалов с учетом разницы в размерах забоя и выработки в месте отсыпки хвостов обогащения.

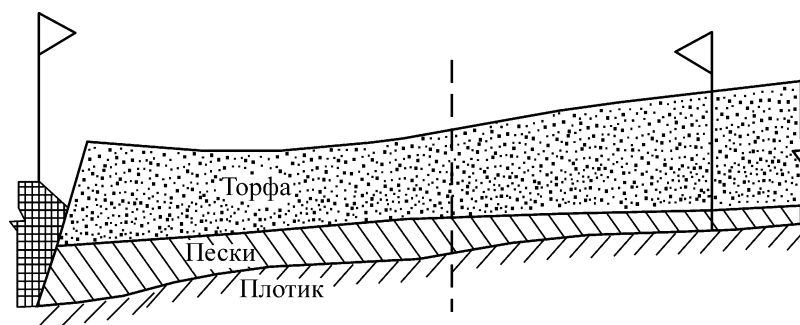


Рис. 2. Поперечный профиль отложений по БЛ1

В настоящее время геометрические параметры отвалов рассчитываются по известным методикам [8–10], разработанным для россыпей с относительно равномерными условиями залегания, поэтому в некоторых случаях при постоянном изменении поперечных размеров продуктивного пласта, в том числе в бортах разрезов, установленные по традиционным зависимостям габариты этих отвалов не согласуются с фактической вместимостью выработанного пространства. В связи с этим при драгировании таких россыпей на производстве столкнулись с рядом сложностей, таких как подэфеливание кормы драги, подсыпка стакера и другие.

С целью согласования расчетных параметров отвалов и фактической вместимости выработки предлагается использовать графоаналитический способ, который позволяет более точно оценивать возможности размещения гали и эфелей в выработанном пространстве. Для этого на контур запасов наносится план дражного хода (рис. 3), и по каждой буровой линии отстраиваются поперечные профили будущей выработки.

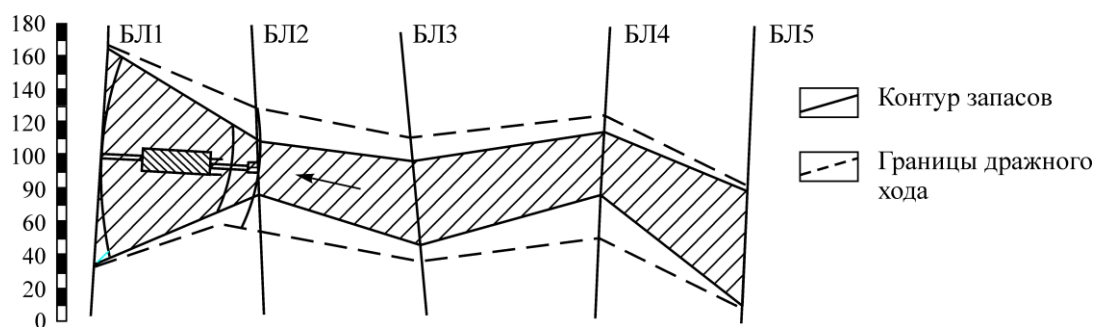


Рис. 3. План дражного хода драги 380 л

По формулам (1) и (2) определяют площадь отвалов гали F_{Γ} и эфелей $F_{\text{эф}}$ [9] применительно к конкретному створу (БЛ):

$$F_{\text{эф}} = H_p B_{\text{заб}} [1 - (\mu_k + \mu_v)] K_{\text{рэ}}, \quad (1)$$

$$F_{\Gamma} = B_{\text{заб}} (H_p \mu_k + z_p) K_{\text{рг}}, \quad (2)$$

где H_p — мощность россыпи, м; $B_{\text{заб}}$ — средняя ширина забоя, м; μ_k , μ_v — коэффициенты каменистости и выноса пород соответственно; $K_{\text{рэ}}$, $K_{\text{рг}}$ — коэффициенты разрыхления эфельных и галечных пород соответственно; z_p — глубина задирки плотика, м;

Затем графоаналитическим способом дражные отвалы размещают в выработанном пространстве на расстоянии L от забоя драги в намеченном створе с учетом рассчитанных радиусов рассеивания гали и эфелей, а также рекомендуемых углов откосов крупно и мелкозернистых пород. Удаление места выемки пород от места складирования L устанавливается исходя из конструктивных параметров драги. Первоначально графически в выработке в выбранном створе размещается эфельный отвал до уровня воды с углом откосов 28° . В случае недостатка пло-

щади в выработке для размещения эфелей до уровня воды отстраивается надводная часть эфельного отвала на высоту 0.1–0.6 м с соответствующим постепенным выполаживанием угла откоса отвала до 22° (рис. 4). При ограниченной вместимости эфельного отвала необходимо применение дополнительных мер по эфелеудалению для избежания возникновения проблем с подэфеливанием кормы драги или другие мероприятия (см. ниже). После графического отображения эфельного отвала отстраивается галечный отвал с учетом рассчитанной ширины его отсыпки (рассеивания) и рекомендуемого угла откоса галечной фракции — 37° .

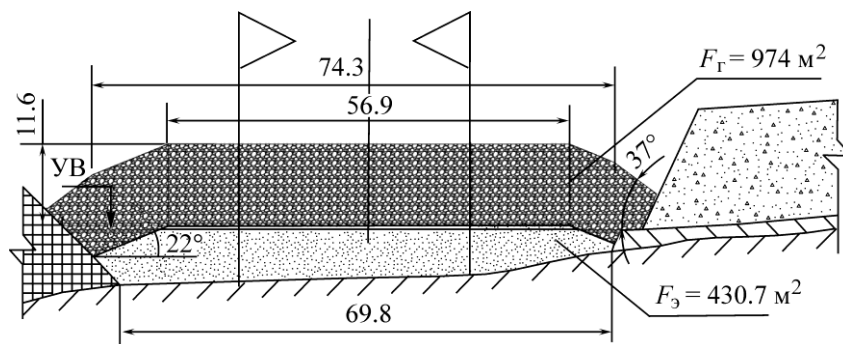


Рис. 4. Порядок размещения дражных отвалов в выработанное пространство БЛ2

В качестве примера рассмотрим порядок размещения хвостов обогащения при отработке россыпи в створе БЛ1 и отсыпке отвалов в выработанное пространство у БЛ2. Выбранная россыпь по условиям залегания, размерам, степени выдержанности продуктивного пласта, равномерности распределения полезного компонента, чрезвычайной нарушенностью добычными работами, соответствует третьей группе сложности, установленной “Классификацией запасов твердых полезных ископаемых к россыпным месторождениям”. Каменистость составляет 55–60 % от объема общей массы. Примерно 5–10 % обломочного материала имеет хорошую окатанность (3 класс). Преобладают валуны размером 0.2–0.15 м, валуны в поперечнике 0.3–0.4 м составляют 3–4 %.

Отработка россыпи намечается драгой ОМ-431. Рассчитанные рабочие параметры драги составляют: радиус черпания на уровне воды $R_{\text{ч}} = 88.3$ м; радиус рассеивания гали $R_{\text{г}} = 57.4$ м; минимальная ширина забоя по уровню воды $A_{\text{min}} = 75$ м; максимальная ширина забоя $A_{\text{max}} = 145$ м; расстояние от забоя до места складирования гали $L = 96$ м.

Первоначально определяются площади поперечного сечения эфельного и галечного отвалов в створе БЛ2 с учетом выемки в створе БЛ1:

$$F_{\text{эф}} = H_{\text{р}} B_{\text{заб}} [1 - (\mu_{\text{к}} + \mu_{\text{в}})] K_{\text{рз}} = 9.1 \cdot 130 [1 - (0.6 + 0.02)] \cdot 1.1 = 494.5 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{г}} = B_{\text{заб}} (H_{\text{р}} \mu_{\text{к}} + z_{\text{р}}) K_{\text{рг}} = 130 (9.1 \cdot 0.6 + 0.3) \cdot 1.3 = 973.4 \text{ м}^2.$$

Затем устанавливаются параметры рассеивания гали и эфелей при драгировании песков в створе БЛ1: $B_{\text{г}} = 74.3$ м, $B_{\text{эф}} = 56.9$ м. Как следует из расчетов и рис. 4 количество эфельных пород, подлежащих размещению в отвале, значительно превышает вместимость выработанного пространства, поэтому необходимо проведение мероприятий по эфелеудалению, либо подъем уровня воды.

В связи с большим радиусом рассеивания и небольшой мощностью драгируемых отложений все галечные породы размещаются в выработанном пространстве без дополнительных мероприятий. Однако при увеличении мощности драгируемых отложений возможны осложнения с размещением галечных пород, что предопределяет необходимость разработки технических решений по удалению галечных пород из разреза, либо по их планировке и размещению в дражных пазухах.

Порядок выполнения графоаналитического расчета вместимости выработанного пространства осуществляется в следующей последовательности:

1. Определение технологических параметров дражной разработки и отстройка контура дражного хода.
2. Построение поперечных профилей продуктивных отложений и дражной выработки.
3. Выявление мест, в которых могут возникнуть проблемы с размещением отвальных пород.
4. Вычисление количества гали и эфелей, намеченных к складированию на узких (или мелких) участках хода.
5. Расчет параметров выемки и отвалообразования ($R_{\text{ч}}$, $R_{\text{г}}$, A_{min} , A_{max} , L , $B_{\text{г}}$, $B_{\text{эф}}$).
6. Построение эфельного отвала с учетом установленного уровня воды и рассчитанной ширины рассеивания эфелей.
7. Проверка соответствия для выбранного створа необходимого для размещения объема хвостов с максимально возможным по условиям вместимости выработки.
8. Разработка мероприятий, позволяющих избежать подэфелевания кормы драги.
9. Построение сечения галечного отвала с учетом параметров эфельного отвала, ширины рассеивания гали и рекомендуемых углов откоса.
10. Оценка возможности складирования галечной фракции и разработка (при необходимости) мероприятий по планировке поверхности отвалов или расширению выработки.

ВЫВОДЫ

Существующие методики расчета параметров дражного отвалообразования не всегда приемлемы для условий разработки техногенных россыпей. Использование графоаналитического способа расчета параметров дражных отвалов позволит с достаточной достоверностью прогнозировать возможность размещения хвостов обогащения в выработанном пространстве, что актуально для разработки сложноструктурных техногенных россыпей с непостоянным поперечным сечением продуктивного пласта.

Более точное обоснование параметров дражных отвалов даст возможность своевременно принимать меры по увеличению вместимости выработанного пространства в месте укладки хвостов обогащения, в том числе путем расширения хода драги, подъема уровня воды в котловане, а также с помощью удаления их избыточного количества в незаполненные дражные пазухи на более широких участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Overview** of the Russian gold mining industry in 2018, Union of goldminers, 2019, Available at: <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-gold-survey-2019-rus/%24FILE/ey-gold-survey-2019-rus.pdf> (Accessed 29 June 2020) (in Russian). [Обзор золотодобывающей отрасли России в 2018 году // Союз золотопромышленников, 2019. – Режим доступа <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-gold-survey-2019-rus/%24FILE/ey-gold-survey-2019-rus.pdf> (Дата обращения – 29 июня 2020 г.).]
2. **Mamaev Yu. A., Van-Van-E A. P., Sorokin A. P., Litvintsev V. S., and Pulyaevskiy A. M.** Problems of rational development of placer deposits in the Far East (geology, mining, processing), Vladivostok, Dalnauka, 2002, 200 pp. (in Russian) [Мамаев Ю. А., Ван-Ван-Е А. П., Сорокин А. П., Литвинцев В. С., Пуляевский А. М. Проблемы рационального освоения золотороссыпных месторождений Дальнего Востока (геология, добыча, переработка). — Владивосток: Дальнаука, 2002 — 200 с.]
3. **Yaroshenko O. N.** Potential directions for the development of engineering and technology for the gold mining at industrial placers, Kolyma, 2003, no. 3, pp. 21–28. (in Russian). [Ярошенко О. Н. Возможные направления развития техники и технологии добычи золота из техногенных россыпей // Колыма. — 2003. — № 3. — С. 21–28.]

4. **Van-Van-E A. P** Resource base of natural and technogenic gold placer deposits, Moscow, MSMU, 2010, 272 pp. (in Russian). [**Ван-Ван-Е А. П.** Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. — М.: Изд-во МГГУ, 2010. — 272 с.]
5. **Benevolskyi B. I.** Efficiency of using the distribution fund of mineral resources and availability of its reproduction with forecasted gold resources, *Ores and metals*, 2007, no. 5, pp. 5–9. (In Russian). [**Беневольский Б. И.** Эффективность использования распределительного фонда недр и обеспеченность его воспроизводства прогнозными ресурсами золота // *Руды и металлы*. — 2007. — № 5. — С. 5–9.]
6. **Zubov V. P. and Minaev Yu. L.** State and prospects of development of technogenic deposits of non-ferrous and precious metals, *Notes of the mine Institute*, 2001, Issue 149, pp. 200–203. (in Russian). [**Зубов В. П., Минаев Ю. Л.** Состояние и перспективы разработки техногенных месторождений цветных и благородных металлов // *Записки Горного института*. — 2001. — Т. 149. — С. 200–203.]
7. **Mamaev Yu. A., Litvintsev V. S. and Ponomarchuk G. P.** Technogenic placers of precious metals of the Far Eastern region of Russia and their rational development, Moscow, MSMU, 2010, 309 pp. (In Russian). [**Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П.** Техногенные россыпи благородных металлов дальневосточного региона России и их рациональное освоение. — М.: Изд-во МГГУ, 2010. — 309 с.]
8. **Leshkov V. G.** Placer Mining, Moscow, MSMU, 2007, 906 pp. (in Russian) [**Лешков В. Г.** Разработка россыпных месторождений: учебн для вузов. — М.: Горная книга, 2007. — 906 с.]
9. **Yaltanets I. M.** Hydromechanized and underwater mining: A textbook for high schools, Moscow, Center of innovative technologies, 2012, 717 pp. (in Russian) [**Ялтанец И. М.** Гидромеханизированные и подводные горные работы: Учебник для вузов. — М.: Изд-во ООО “Центр Инновационных технологий”. — 2012. — 717 с.]
10. **Shorohov S. M.** Technology and complex mechanization of placer mining, Moscow, Nedra, 1973, 756 pp. (in Russian) [**Шорохов С. М.** Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. — М.: Недра, 1973. — 795 с.]