

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.4+504.4.054

DOI: [10.46698/VNC.2022.20.40.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.20.40.002)

Оригинальная статья

Химический состав и некоторые особенности минералообразования в донных отложениях рек бассейна Северского Донца (в пределах Ростовской области)

В. Е. Закруткин , Е. В. Гибков , В. Н. Решетняк 

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Россия, 344090, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, e-mail: vezak@sfedu.ru

Статья поступила: 02.02.2022, доработана: 21.02.2022, одобрена в печать: 01.03. 2022

Резюме: Актуальность работы. Восточный Донбасс – региональная природно-техногенная геохимическая аномалия, представляющая собой зону размещения месторождений угля и предприятий угледобывающей промышленности. Традиционно это один из наиболее проблемных в экологическом отношении регионов Ростовской области и Юга России в целом. Одной из наиболее значимых геоэкологических проблем здесь является деградация малых рек, которые на протяжении многих лет испытывают большое влияние угольной промышленности, в первую очередь техногенных шахтных вод, с которыми в речную сеть ежегодно поступают десятки и сотни тысяч тонн тяжелых металлов, особенно соединений железа и марганца. Как следствие меняется химический состав не только водной толщи, но и донных отложений, происходит преобразование минералогического состава осадков. **Цель исследований** – изучение химического состава и выявление некоторых особенностей минералообразования в донных отложениях рек бассейна Северского Донца. **Методы исследований.** Содержание породообразующих оксидов определяли стандартным методом силикатного анализа. Гранулометрический анализ проб и минеральный состав выделенных фракций изучались традиционными методами. Дальнейшая обработка и интерпретация данных проведена с применением классических геохимических диаграмм. **Результаты исследований.** Установлено, что донные отложения рек бассейна Северского Донца крайне неоднородные с точки зрения гранулометрического, химического и минерального состава. Это песчано-алевритовые, глинистые и слабосортированные осадки. Выявлено, что донные отложения в исследуемом районе формируются за счет совокупного влияния природных и антропогенных факторов. Среди последних определенную роль играют техногенные шахтные воды и продукты физико-химической трансформации породных отвалов в виде техногенного делювия и пролювия. Снижение степени техногенного воздействия в последние годы и обменные процессы в системе «вода – донные отложения» определили низкую степень загрязненности аллювия большинства рек бассейна железом, марганцем и другими металлами. Процессы аутигенного минералообразования, протекающие в стадии диагенеза, способствуют переводу железа и, вероятно, сопутствующих ему металлов в относительно инертные формы. Наиболее ярким примером подобных процессов являются новообразования магнетита за счет гидроокислов железа под восстанавливающим влиянием разлагающегося органического вещества.

Ключевые слова: донные отложения, Восточный Донбасс, угледобывающая промышленность, аутигенное минералообразование, техногенные шахтные воды

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-27-00305, <https://rscf.ru/project/22-27-00305/> в Южном федеральном университете.

Для цитирования: Закруткин В. Е., Гибков Е. В., Решетняк В. Н. Химический состав и некоторые особенности минералообразования в донных отложениях рек бассейна Северского Донца (в пределах Ростовской области). *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (1): 19–34. DOI: 10.46698/VNC.2022.20.40.002.

DOI: [10.46698/VNC.2022.20.40.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.20.40.002)

Original paper

Chemical composition and certain features of mineral formation in the river sediments of the Seversky Donets River basin (within the Rostov region)

V. E. Zakrutkin , E. V. Gibkov , V. N. Reshetnyak 

Southern Federal University, 40 R. Zorge Str., Rostov-on-Don 344090, Russian Federation,
e-mail: vezak@sfnu.ru

Received: 02.02.2022, revised: 21.02.2022, accepted: 01.03.2022

Abstract: Relevance. Eastern Donbass is a regional natural-technogenic geochemical anomaly zone, where coal deposits and coal mining enterprises are located. Historically, this is one of the most environmentally problematic areas of the Rostov region and the South of Russia in general. One of the most significant geoecological problems within this area is the deterioration of small rivers' state, which has been greatly influenced by the coal industry for many years. Primarily it has been influenced by technogenic mine waters carrying tens and hundreds of thousands of tons of heavy metals, especially iron and manganese. As a result, the chemical composition of water column and river sediments has changed, and the mineralogical composition of sediments has transformed. **Aim of research** is to study the chemical composition and reveal certain features of mineral formation in the river sediments of the Seversky Donets River basin. **Methods.** The content of rock-forming oxides was determined by the common method of silicate analysis. The grain size analysis of samples and the mineral composition of the separated fractions were studied by conventional methods. Further data processing and interpretation has carried out using classical geochemical diagrams. **Results.** It has been established that the river sediments of the Seversky Donets River basin are extremely heterogeneous in terms of grain size, chemical and mineral composition. These are sandy-silty, clayey and poorly sorted sediments. It has revealed that river sediments within the study area are formed due to the combined influence of natural and anthropogenic factors. Among the latter, technogenic mine waters and products of the physico-chemical transformation of rock dumps in the form of technogenic talus and proluvium play a specific role. The decrease in the degree of technogenic impact in recent years and the exchange processes in the "water – river sediments" system have determined the low degree of alluvium pollution in the most rivers within the basin with iron, manganese and other metals. The processes of authigenic mineral formation occurring at the stage of diagenesis promote the conversion of iron and, probably, associated metals into relatively inert forms. The most striking example of such processes are neogenesis of magnetite due to reducing effect of decaying organic matter with iron hydroxides as matter supply.

Keywords: river sediments, Eastern Donbass, coal mining industry, authigenic mineral formation, technogenic mine waters

Acknowledgments: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-27-00305, <https://rscf.ru/project/22-27-00305/> at the Southern Federal University.

For citation: Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Reshetnyak V.N. Chemical composition and certain features of mineral formation in the river sediments of the Seversky Donets River basin (within the Rostov region). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (1): 19–34. DOI: [10.46698/VNC.2022.20.40.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.20.40.002).

Введение

Северский Донец – река общей протяженностью 1053 км – берет свое начало в Белгородской области на Среднерусской возвышенности, по которой и проходит большую часть своего пути. В нижнем течении (примерно треть протяженности) река протекает вдоль Донецкого складчатого сооружения и только ближе к устьевой зоне пересекает дислоцированные породы массива. Последний сложен образованиями каменноугольной, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем [Погребнов и др., 1985; Мохов, 2021; Давыденко и др., 2021]. Отложения карбона, общей мощностью до 22 км, развиты повсеместно и составляют основание Донецкого складчатого сооружения. Главным образом они представлены терригенно-карбонатной угленосной толщей средне- и верхнекаменноугольного возраста представленной песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами, известняками. Породы карбона содержат запасы высококачественного каменного угля, промышленная разработка которых осуществлялась на протяжении последних двух столетий, что привело к формированию здесь региональной природно-техногенной геохимической аномалии, представляющей собой зону размещения месторождений угля и предприятий угледобывающей промышленности (Восточный Донбасс). Традиционно Восточный Донбасс – это один из наиболее проблемных в экологическом отношении регионов Ростовской области и Юга России в целом. При этом одной из наиболее значимых геоэкологических проблем здесь является деградация малых рек, которые на протяжении многих лет испытывают большое влияние угольной промышленности, в первую очередь техногенных шахтных вод [Гавришин, 2020; Мохов, 2016], с которыми в речную сеть ежегодно поступают десятки и сотни тысяч тонн тяжелых металлов, особенно соединений железа и марганца. Как следствие меняется химический состав не только водной толщи, но и донных отложений, происходит преобразование минералогического состава осадков. Учитывая, что донные отложения являются одним из важнейших компонентов окружающей среды, отражающей не только состав поверхностных вод, но и совокупность геохимических процессов, протекающих на водосборных площадях, их всестороннее изучение является весьма актуальным.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись донные отложения рек бассейна нижнего течения Северского Донца в пределах Ростовской области (рис. 1). Сеть наблюдательных створов, в которых отбирались пробы донных осадков, была заложена с учетом равномерного охвата водосборной площади главной водной артерии Восточного Донбасса – Северского Донца – и его основных притоков (рр. Кундрючья, Быстрая, Калитва, Лихая, Большая и Малая Каменки, Большая Гнилуша). Опробование в пределах рек, как правило, осуществлялось в верховьях, среднем течении и устьевых участках, однако в некоторых малых реках (Большая Каменка, Быстрая и Большая Гнилуша), вследствие их малой протяженности, исследовались верховья и устьевые участки водотоков. Отбор проб донных отложений проводился согласно нормативным документам (ГОСТ 17.1.5.01-80, 2002; ГОСТ Р 51232-98, 1999) с использованием дночерпателя Ван-Вина. В связи с гранулометрической неоднородностью аллювия каждую пробу составляли из нескольких (обычно 3-5) частных проб, охватывающих всю ширину русла.

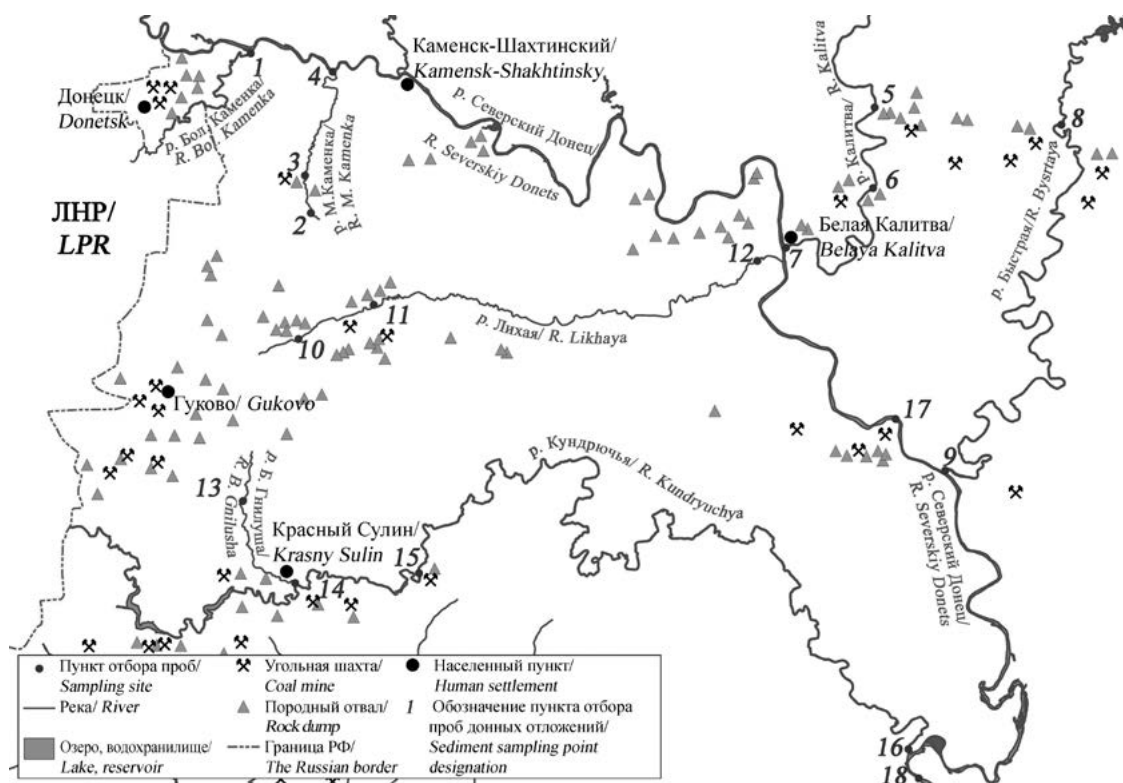


Рис. 1. Схема расположения пунктов отбора проб донных отложений рек бассейна Северского Донца и основных объектов угледобывающей промышленности /

Fig. 1. Layout of river sediments sampling points and the main objects of the coal mining industry within the Seversky Donets River basin

После морфологического описания отобранные пробы донных осадков высушивались до воздушно-сухого состояния и передавались в лабораторию для определения их гранулометрического, минерального и химического составов. Гранулометрический состав определялся ситовым, пипеточным и комбинированным методами. Определение минерального состава частиц песчано-алевритовой размерности осуществлялось под бинокулярным микроскопом после отмучивания осадка и обработки иммерсионными препаратами с последующим делением на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Содержание порообразующих оксидов определяли традиционным методом силикатного анализа.

Внешне изученный аллювий представляет собой осадки от светло-серого до черного цвета, иногда с коричневатым оттенком. Многие из них имеют полужидкую консистенцию с большим количеством разлагающейся органики современного происхождения (ОСП). С точки зрения гранулометрического состава это илы пелитовой, алевропелитовой и песчаной размерности частиц, а также смешанные слабосортированные осадки (хлидолиты). В малых реках бассейна, как правило, преобладает пелитовая фракция, выход которой варьирует от 25% в устье р. Малая Каменка до 92-93% в верховье Большой Гнилуши и среднем течении р. Лихая. Основная часть этой фракции представлена глинистыми минералами, в подчиненном количестве присутствуют современное органическое вещество, кальцит, чешуйки слюд, угольные частицы, кварц и полевые шпаты. В донных же отложениях более полноводных средних рек и самого Северского Донца резко преобладает песчано-алевритовая фракция, доля которой составляет от 80 до 97%. Основная часть мате-

риала представлена зернами кварца и полевого шпата. В пределах отдельных участков рек в заметном количестве (до 22%) присутствует терригенный обломочный материал в виде частиц песчаника, углистых аргиллитов, алевролитов, карбонатов и кремнистых пород.

В составе тяжелой фракции преобладают ильменит, магнетит с гематитом и гидроокислы железа. В отдельных случаях значительная доля тяжелой фракции приходится на аутигенный пирит. В меньших количествах встречаются карбонаты, представленные сидеритом и кальцитом. К группе второстепенных минералов относятся циркон, рутил, кианит, ставролит, турмалин. Существенно реже встречаются амфиболы, мусковит, биотит, хромит, хромшпинелиды.

Результаты работы и их обсуждение

В таблице 1 показан химический состав донных отложений, а на диаграмме А-К В.Е. Закруткина (рис. 2) демонстрируется их соответствие тому или иному типу терригенных осадочных образований.

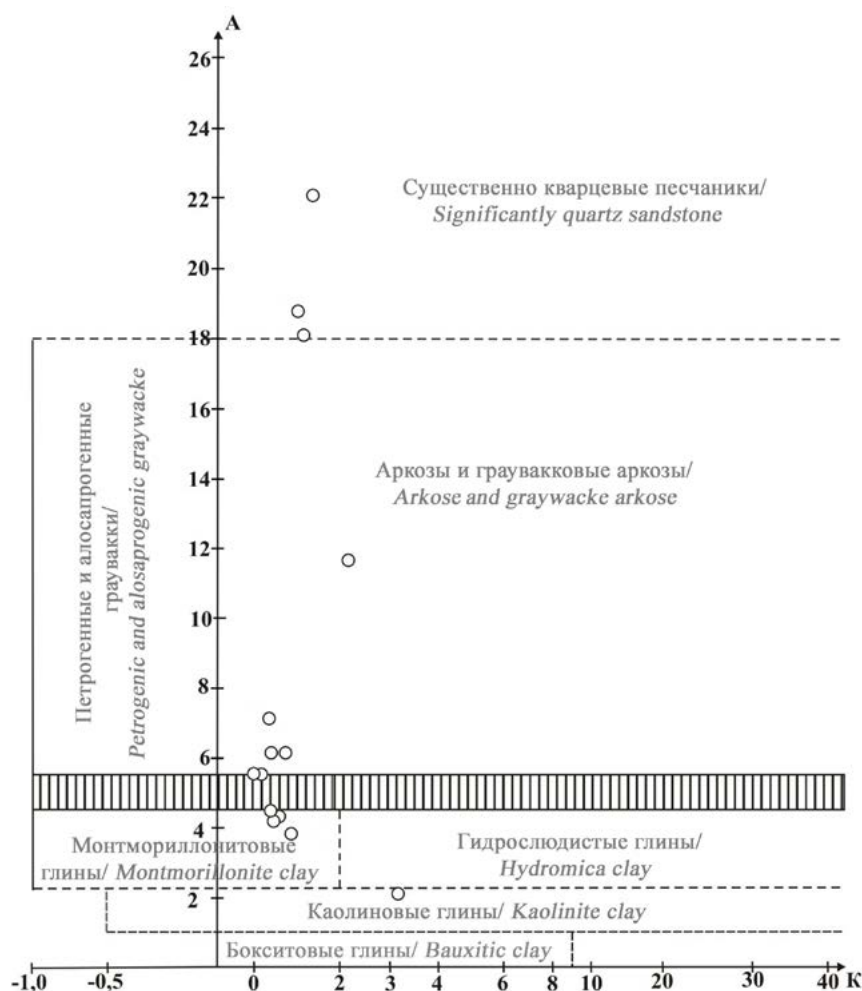


Рис. 2. Фигуративные точки донных отложений рек бассейна Северского Донца на диаграмме А – К, где $A - (SiO_2 + Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$, $K - (K_2O - Na_2O)/Na_2O$ [Закруткин, 1982] /

Fig. 2. Imaging points of river sediments of the Seversky Donets River basin in the diagram A – K, where $A - (SiO_2 + Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$, $K - (K_2O - Na_2O)/Na_2O$ [Zakrutkin, 1982]

Таблица 1 / Table 1

**Химический состав (в %) донных отложений рек бассейна Северского Донца /
Chemical composition (%) of river sediments within the Seversky Donets River basin**

Река, участок на рисунке 1 / River, section in Fig. 1	Характеристика донных отложений / Characteristics of bottom sediments	Место отбора проб / Sampling location	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	ППП / PPP	Сумма / The amount
Большая Каменка; 1 / Large Kamenska; 1	Алеврито-пелитовый ил темно-серого цвета, обогащенный ОСП / Silt-pelitic silt of dark gray color, enriched with organics of modern origin (ОМО)	Устье / Mouth	59,7	14,2	5,4	3,8	1,4	0,5	0,7	2,0	1,0	0,3	0,1	11,6	100,5
Малая Каменка; 4 / Small Kamenska; 4	Алевролитовый ил светло-серого цвета / Siltstone silt of light gray color	Устье / Mouth	82,5	4,6	1,9	3,2	0,4	0,6	0,4	1,0	0,4	0,1	0,0	4,9	100,0
Малая Каменка; 3 / Small Kamenska; 3	Алеврито-пелитовый ил светло-серого цвета, с частицами каменного угля / Silt-pelitic silt of light gray color, with particles of coal	Средняя часть реки / Middle part of the river	56,6	13,2	5,3	5,4	1,5	0,8	0,7	2,1	1,0	0,2	0,1	13,7	100,5
Малая Каменка; 2 / Small Kamenska; 2	Алеврито-пелитовый ил темно-серого цвета, обогащенный ОСП / Silt-pelitic silt of dark gray color, enriched with ОМО	Верховье реки / Upper reaches of the river	65,5	9,4	4,1	5,0	1,0	0,4	0,5	1,5	0,8	0,2	0,1	12,1	100,4
Лихая; 12 / Lichay; 12	Алеврито-пелитовый ил серо-коричневого цвета, обогащенный ОСП / Silt-pelitic silt of gray-brown color, enriched with ОМО	Устье / Mouth	53,0	8,9	3,8	13,4	1,3	1,7	0,5	1,5	0,7	0,2	0,1	15,4	100,4
Лихая; 11 / Lichay; 11	Глинистый ил темно-серого цвета, обогащенный ОСП / Clay silt of dark gray color, enriched with ОМО	Верховье реки / Upper reaches of the river	46,6	15,9	2,5	7,7	2,2	2,9	0,7	2,1	0,7	0,2	0,3	18,0	99,8

Река, участок на рисунке 1 / River, section in Fig. 1	Характеристика донных отложений / Characteristics of bottom sediments	Место отбора проб / Sampling location	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	ППП / PPP	Сумма / The amount
Лихая; 10 / Lichay;	Глинистый ил темно-серого цвета, обогатенный ОСП с частицами каменного угля / Clay silt of dark gray color, enriched with OMO with coal particles	Верховье реки / Upper reaches of the river	59,8	11,6	4,8	6,0	1,5	0,9	0,7	1,8	1,0	0,3	0,1	12,0	100,4
Калитва; 7 / Kalitva; 7	Тонкозернистый серый песок, с включениями ОСП / Fine-grained gray sand, with OMO inclusions	Устье / Mouth	84,6	3,9	1,4	3,5	0,4	0,1	0,3	0,8	0,3	0,1	0,0	5,1	100,4
Калитва; 6 / Kalitva; 6	Тонкозернистый светло-серый песок / Fine-grained light gray sand	Средняя часть реки / Middle part of the river	95,1	1,1	0,7	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	1,2	100,2
Калитва; 5 / Kalitva; 5	Тонкозернистый светло-серый песок / Fine-grained light gray sand	Верховье реки / Upper reaches of the river	92,6	2,0	0,8	1,7	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	1,9	100,0
Быстрая; 9 / Bystraya; 9	Алевритовый серый ил, содержащий большое количество частиц угля и углистых сланцев / Siltstone gray silt containing a large number of coal particles and carbonaceous shales	Устье / Mouth	71,4	6,2	2,1	1,1	0,4	0,5	0,4	1,3	0,4	0,1	0,0	16,6	100,4
Быстрая; 8 / Bystraya; 8	Тонкозернистый светло-серый песок / Fine-grained light gray sand	Верховье реки / Upper reaches of the river	91,5	1,9	0,9	2,4	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	2,7	100,1
Кундрючая; 16 / Kundruchy; 16	Алеврито-пелитовый ил серо- коричневого цвета, обогатенный ОСП / Silt-pelitic silt of gray-brown color, enriched with OMO	Устье / Mouth	65,4	11,0	4,2	5,1	1,6	0,8	0,6	1,7	0,8	0,1	0,1	8,8	100,1

Река, участок на рисунке 1 / River, section in Fig. 1	Характеристика донных отложений / Characteristics of bottom sediments	Место отбора проб / Sampling location	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	ППП / PPP	Сумма / The amount
Кундрючья; 15 / Kundruchy; 15	Алеврито-пелитовый ил темно-серого цвета, обогащенный ОСП / Silt-pelitic silt of dark gray color, enriched with OMO	Средняя часть реки / Middle part of the river	55,0	14,7	5,6	6,5	1,4	1,5	0,7	2,1	0,9	0,2	0,1	11,5	100,3
Большая Гнилуша; 14 / Large Gnilushka; 14	Глинистый ил от темно-серого до черного цвета, обогащенный ОСП / Clay silt from dark gray to black, enriched with OMO	Устье / Mouth	44,2	11,0	11,4	6,7	1,7	2,6	0,6	1,7	0,9	0,3	0,6	18,9	100,5
Большая Гнилуша; 13 / Large Gnilushka; 13	Алеврито-пелитовый ил темно-серого цвета, обогащенный ОСП / Silt-pelitic silt of dark gray color, enriched with OMO	Верховье реки / Upper reaches of the river	58,9	11,0	4,1	7,2	1,5	0,6	0,7	1,8	1,1	0,2	0,2	12,6	100,0
Северский Донец; 18 / Seversky Donec; 18	Среднезернистый светло-серый песок / Medium-grained light gray sand	Устье / Mouth	95,2	0,8	0,4	2,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	1,4	100,5
Северский Донец; 17 / Seversky Donec; 17	Тонкозернистый серый песок, с частицами ОСП / Fine-grained gray sand, with OMO particles	Средняя часть реки / Middle part of the river	80,2	4,3	1,5	5,0	0,3	0,4	0,4	0,8	0,4	0,1	0,0	6,6	100,0

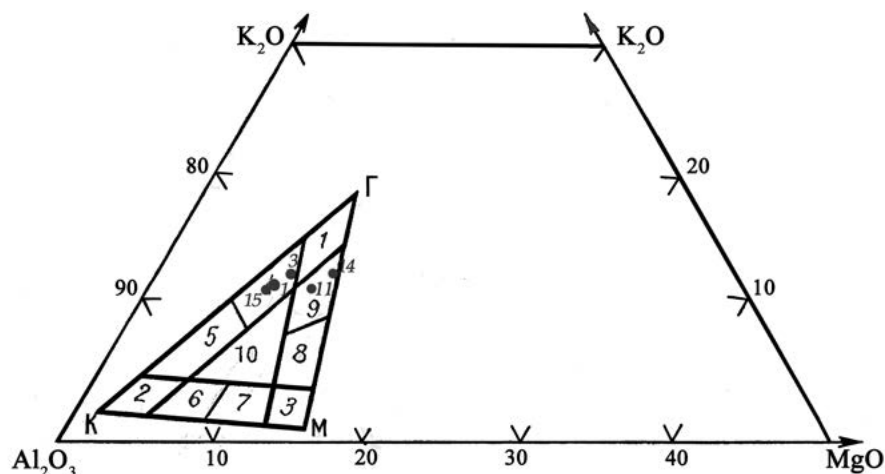


Рис. 3. Положение фигуративных точек донных отложений на треугольной диаграмме для определения исходного минерального состава [Закруткин, 1982] /

Fig. 3. Position of imaging points of river sediments in a triangular diagram used to determine the initial mineral composition [Zakrutkin, 1982]

Как видно из диаграммы, фигуративные точки состава донных осадков распределены неравномерно. При этом отложения Северского Донца, Калитвы, Быстрой расположены преимущественно в поле псаммитов, а Большой Каменки, Лихой, Кундрючьи и Большой Гнилуши – в основном в поле глин.

Учитывая, что границы между отдельными типами глин на диаграмме А-К в определенной степени условны, дальнейшее уточнение минерального состава изучаемых глинистых отложений осуществлено с помощью метода треугольных диаграмм [Закруткин, 1982]. Из анализа данных, приведенных на одной из этих диаграмм (рис. 3), а также уточняющей ее таблицы (таблица 2), следует, что наиболее распространенным глинистым минералом среди проанализированных проб является гидрослюда, иногда со значительной примесью каолинита (реки Большая и Малая Каменка, Кундрючья), либо монтмориллонита (Лихая и Большая Гнилуша).

Таблица 2 / Table 2

Характеристика минерального состава глинистых донных отложений рек бассейна Северского Донца / Mineral composition of the clayey river sediments of the Seversky Donets River basin

Река / River	Номер участка / Plot Number	Номер секции / Section number	Тип глины / Type of clay
Большая Каменка / Large Kamenka	1	4	Каолинит-гидрослюдистый / Kaolinite-hydrosлюдic
Малая Каменка / Small Kamenka	3	4	Каолинит-гидрослюдистый / Kaolinite-hydrosлюдic
Лихая / Lichay	11	9	Монтмориллонит-гидрослюдистый / Montmorillonite-hydrosлюдic
Большая Гнилуша / Large Gnilushka	14	9	Монтмориллонит-гидрослюдистый / Montmorillonite-hydrosлюдic
Кундрючья / Kundruchy	15	4	Каолинит-гидрослюдистый / Kaolinite-hydrosлюдic

В дополнение к приведенной выше диаграмме А-К нами использована также классификационная диаграмма М.М. Хиррона [Herron, 1988], применявшаяся рядом авторов для характеристики донных отложений и состава речной взвеси [Fabris et al., 2021; Moraes et al., 2020; Sonfack et al., 2021]. На этой диаграмме, помимо традиционных терригенных отложений, выделены поля существенно ожелезненных образований (железистых сланцев и песчаников), что позволяет фиксировать один из главных источников поступления железа, марганца и других сопутствующих металлов в донные отложения – техногенные шахтные воды.

В этом плане заслуживает внимания положение на диаграмме (рис. 4) фигуративной точки устьевое створа р. Большая Гнилуша в поле железистых сланцев. Донные отложения в данном створе представлены черным, преимущественно пелитовым илом (содержание пелитовой фракции 84%) с самым высоким содержанием современной органики (порядка 19%), а также с самой высокой долей тяжелой фракции (2,07%), в которой определяющими являются гематит-магнетитовые образования, в сумме составляющие 90% выхода фракции. В подчиненном количестве присутствуют гидроокислы железа, ильменит и некоторые другие минералы.

Такие особенности гранулометрического и минерального состава осадка (резкое преобладание пелитовой составляющей, наряду с самым высоким выходом тяжелой фракции гематит-магнетитового состава) невозможно объяснить с точки зрения законов механической дифференциации вещества в осадочном процессе, поэтому возникает мысль об аутигенном происхождении магнетита с гематитом за счет гидроокислов железа под восстанавливающим влиянием разлагающегося органического вещества, присутствующего в обильном количестве в данном створе.

В то же время повсеместно распространенный в тяжелой фракции ильменит имеет явно терригенное происхождение, о чем свидетельствует прямая зависимость с высоким значением коэффициента аппроксимации между его содержанием

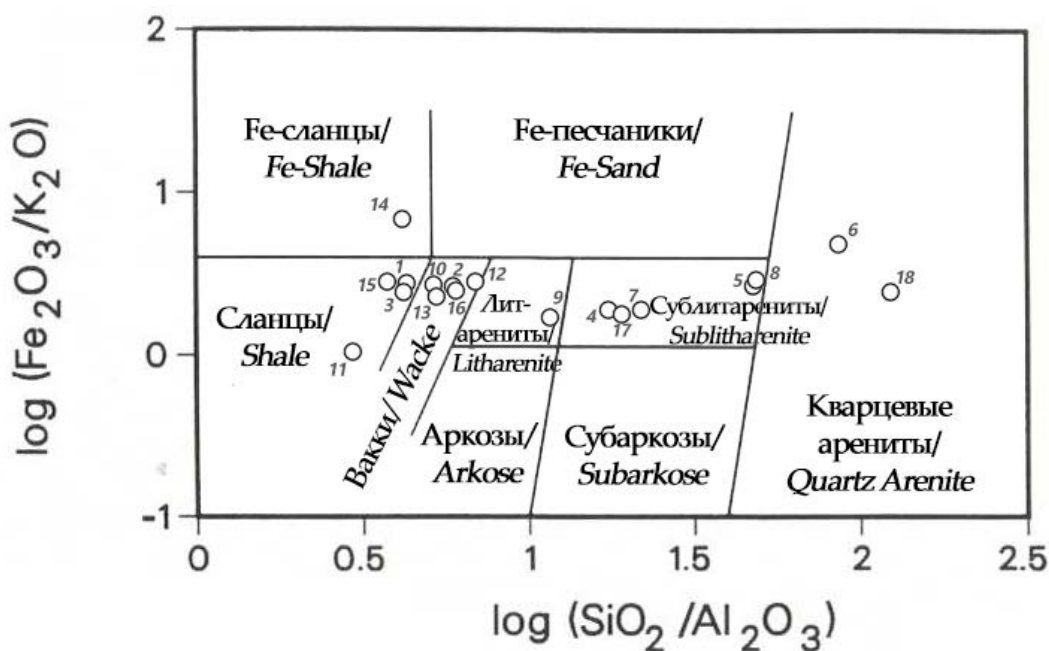


Рис. 4. Положение фигуративных точек состава донных отложений рек бассейна Северского Донца на диаграмме Хиррона [Herron, 1988] /

Fig. 4. Position of imaging points of the sediments composition in the rivers of the Seversky Donets River basin in the Herron diagram [Herron, 1988]

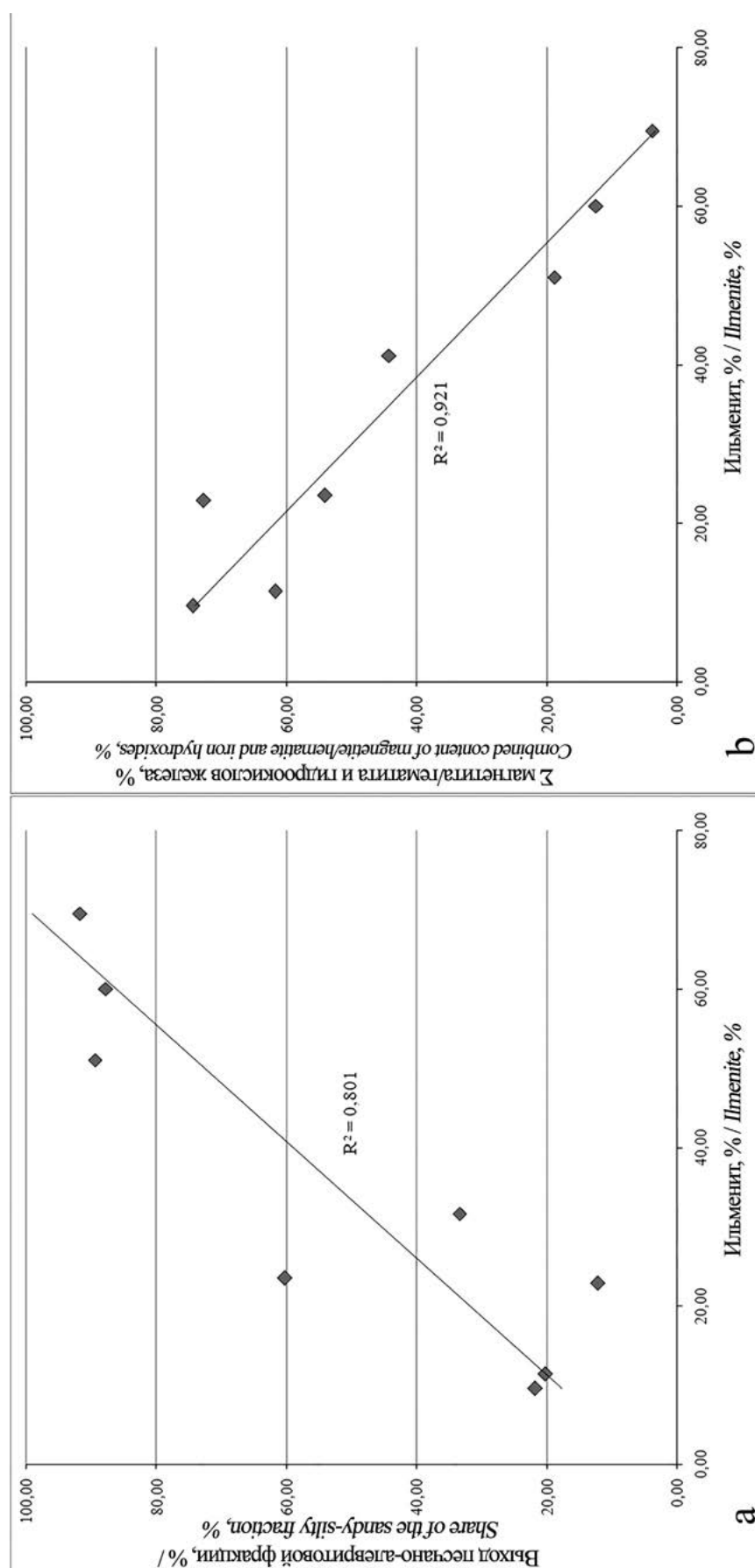


Рис. 5. (а) Зависимость содержания ильменита от выхода песчано-алевритовой фракции (в среднем по рекам), (б) зависимость содержания ильменита от суммарного содержания окислов и гидроокислов железа /

Fig. 5. (a) Correlation between the ilmenite content and the share of the sandy-silty fraction (average value for the rivers), (b) correlation between the ilmenite content and the combined content of iron oxides and hydroxides

и выходом песчано-алевритовой фракции (рис. 5а). Магнетит же в совокупности с другими оксидами и гидрооксидами железа находится в обратной зависимости с содержанием ильменита (рис. 5б), что является дополнительным подтверждением иного, аутигенного происхождения минерала и его повсеместного распространения. Новообразования магнетита в современных осадках отмечались и другими авторами [Semenov et al., 2017].

Как известно, формирование донных отложений происходит в результате сложного взаимодействия различных процессов как природного, так и техногенного происхождения. С учетом высокой степени расчлененности рельефа и преобладанием водной эрозии над ветровой [Сидаренко, 2020] в пределах бассейна Северского Донца, основным путем поступления вещества в водотоки и донные отложения рек будет смыв с водосборной площади. При этом водной эрозии подвергается не только почвенный покров, но и продукты физико-химического разрушения породных отвалов (террикоников), зачастую расположенных в непосредственной близости от изучаемых рек (рис. 1). Как показывает анализ экзогенных процессов в угольных бассейнах с шахтным способом добычи [Солнцева, Никифорова, 1982; Зубова и др., 2015; Welch et al., 2021; Clark et al., 2018] отвалы вскрышных и вмещающих пород под воздействием атмосферных осадков подвергаются трансформации, в результате чего формируются высокоминерализованные водотоки, оказывающие воздействие на почвенный покров, подземные и поверхностные воды. Помимо этого, с поверхности терриконов дождевыми потоками выносятся и твердый материал в виде техногенного делювия и пролювия, который, перемещаясь, главным образом, по овражно-балочной системе, в конечном счете попадает в речную сеть.

Факт участия техногенного делювия в формировании вещественного состава донных отложений подтверждается и нижеследующей диаграммой (рис. 6), где по вертикальной оси показаны величины железного модуля, а по горизонтали – значения модуля общей нормативной щелочности. На этой диаграмме выделены поля черноземов южных и обыкновенных, наиболее распространенных типов почв в бассейне Северского Донца и материала техногенного делювия породных отвалов. Оба эти поля относятся к диапазону нормальной железистости, следовательно, техногенные делювий, пролювий и тем более почвенный покров не могли являться источниками формирования донных отложений повышенной степени ожелезненности. В этой связи естественно предположить, что локализация фигуративных точек в верхней части диаграммы будет говорить о высоком влиянии техногенных шахтных вод, что подтверждается положением устьевого створа р. Большая Гнилуша в зоне высокожелезистых образований.

Положение большей части фигуративных точек речного аллювия в поле нормальной железистости хорошо согласуется с его слабой степенью загрязненности, установленной по суммарному показателю Z_c , несмотря на общепризнанный факт воздействия угледобывающей промышленности на поверхностные водные объекты Восточного Донбасса [Закруткин и др., 2016; Гавришин, 2020, 2019; Гавришин и др., 2018]. Данное обстоятельство можно объяснить, по крайней мере, двумя причинами: во-первых, улучшением качества речных вод [Закруткин и др., 2016], связанным с сокращением объемов загрязняющих веществ, прежде всего железа и марганца, поступающих в речную сеть; во-вторых – активным взаимодействием донных осадков с водной толщей, сопровождающимся переходом макро- и микро-элементов в поверхностные воды. Так, в частности, как показали результаты про-

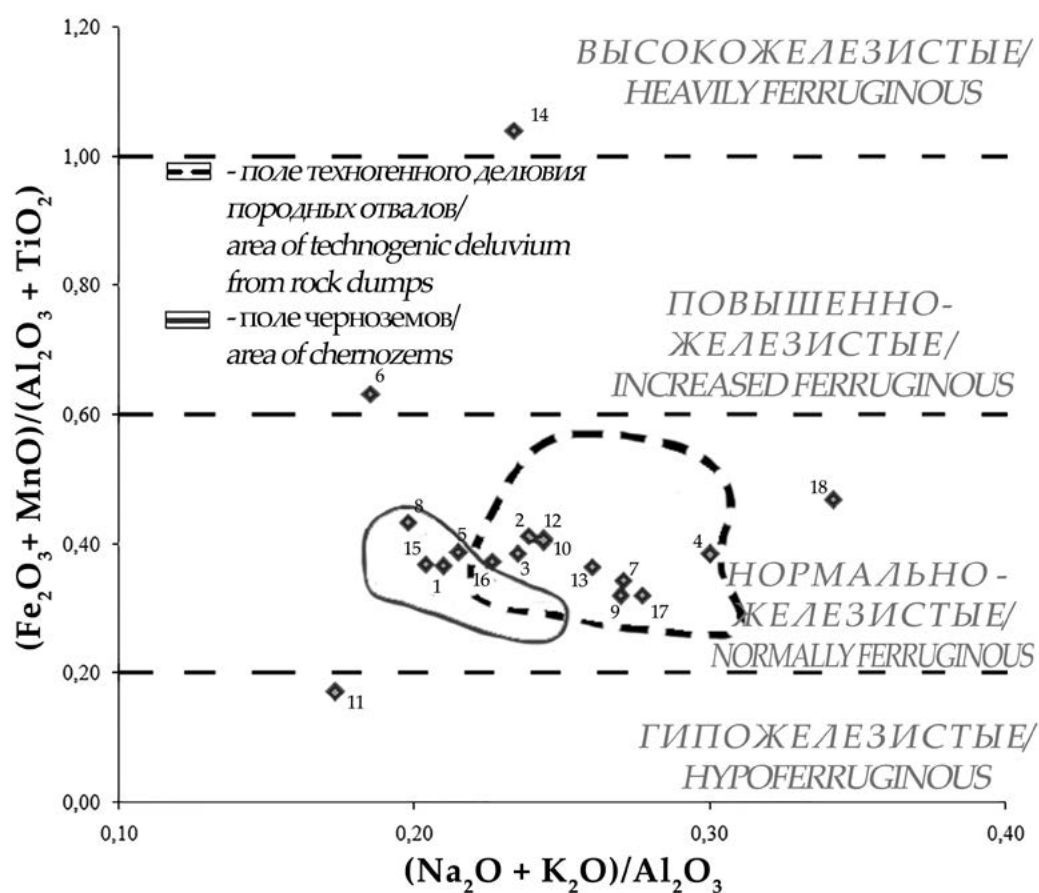


Рис. 6. Положение фигуративных точек донных отложений рек бассейна Северского Донца и полей черноземов [Вальков и др., 2008] и техногенного делювия породных отвалов [Коломенский и др., 2005] на диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$

Fig. 6. Position of imaging points of river sediments in the Seversky Donets River basin and areas of chernozems [Valkov et al., 2008] and technogenic deluvium from rock dumps [Kolomensky et al., 2005] in the diagram $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$

веденных нами экспериментов [Закруткин и др., 2016], исследуемые донные отложения могут являться источником вторичного загрязнения железом, марганцем и другими металлами. При этом обменные процессы в системе «донные отложения – речная вода» протекают достаточно быстро, в результате чего уже в течение часа концентрация железа в речной воде увеличивается в 1,5 раза; марганца – в 16-20 раз в сравнении с их исходными содержаниями.

Выводы

1. Химический состав донных отложений формируется за счет совокупного влияния природных и антропогенных факторов, среди последних определенную роль играют техногенные геохимические потоки, сформированные в процессе угледобычи и последующей ликвидации нерентабельных шахт – техногенные шахтные воды и продукты физико-химической трансформации породных отвалов в виде техногенного делювия и пролювия.

2. Снижение степени техногенного воздействия в последние годы, в связи с истощением источника поступления загрязняющих веществ в речную сеть и обмен-

ные процессы в системе «вода – донные отложения» определили низкую степень загрязненности аллювия большинства рек бассейна железом, марганцем и другими металлами.

3. Процессы аутигенного минералообразования, протекающие в стадию диагенеза, способствуют детоксикации донных отложений за счет перевода железа и вероятно сопутствующих ему металлов в относительно инертные формы. Ярким результатом подобных процессов являются новообразования магнетита за счет гидроокислов железа под восстанавливающим влиянием разлагающегося органического вещества.

Литература

1. Вальков В. Ф. Почвы Юга России. / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – РнД: Изд-во «Эверест», 2008. – 276 с
2. Гавришин А. И. Оценка качества химического состава поверхностных вод в Восточном Донбассе. // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – №4. – С. 61-67. DOI: 10.31857/S0869-78092019461-67
3. Гавришин А. И. Шахтные воды в управлении качеством грунтовых вод в Восточном Донбассе. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №3. – С. 127-138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008
4. Гавришин А. И., Борисова В. Е., Торопова Е. С. Распределение химического состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №2. – С. 5-15. DOI: 10.23671/VNC.2018.2.13923
5. Давыденко Д. Б., Парада С. Г. Опыт разделения потенциальных полей Донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 22-27. DOI: 10.46698/VNC.2021.23.67.003.
6. Закруткин В. Е. Высокоуглеродистые формации раннего докембрия европейской части СССР. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1982. – 286 с.
7. Закруткин В. Е., Скляренко Г. Ю., Бакаева Е. Н., Решетняк О. С., Гибков Е. В., Фоменко Н. Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества: монография. – Ростов н/Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 172 с.
8. Зубова Л. Г., Зубов А. Р., Зубов А. А., Харламова А. В., Воробьев С. Г., Макаришин А. Ю. И., Буняченко В. В. Терриконы: монография. – Луганск: Ноулидж, 2015. – 712 с.
9. Мохов А. В. Некоторые аспекты применения метода гидрогеологических аналогий для обеспечения промышленного освоения угольных месторождений подземным способом. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №4. – С. 94-101.
10. Мохов А. В. О происхождении и морфологии Z-образных расщеплений угольных залежей (на примере Восточного Донбасса). // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №4. – С. 121-134. DOI: 10.46698/VNC.2021.31.82.010.
11. Погребнов Н. Н., Очертенко И. А., Трощенко В. В. Структурная геология Донецкого угольного бассейна. – М.: Недра, 1985. – 149 с.
12. Коломенский Г. Ю., Гипич Л. В., Коломенская В. Г. Техногенные месторождения. // В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. / Гл. ред. акад. Г. Г. Матишов. – Ростов н/Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2005. – С. 85-101.
13. Сидаренко Д. П. Интенсивность проявления эрозионных процессов в Ростовской области. // Экология и водное хозяйство. – 2020. – №2 (5). – С. 86-102. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-86-102

14. Солнцева Н. П., Никифорова Е. М. Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей). // В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 82-119.
15. Clark E. V., Daniels W. L., Zipper C. E., Eriksson K. Mineralogical influences on water quality from weathering of surface coal mine spoils. // *Appl Geochem.* – 2018. – Vol. 91. – pp. 97-106. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.02.001
16. Fabris A.-S., Larouche P., Montero-Serrano J.-C. Characterization of suspended matter size and composition in the St. Lawrence Estuary (eastern Canada). // *Regional Studies in Marine Science.* – 2021. – Vol. 45. – 101838. DOI: 10.1016/j.rsma.2021.101838
17. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. // *J. Sed. Petrol.* – 1988. – Vol. 58. – pp. 820-829. DOI: 10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D
18. Moraes A. M., Sahoo P. K., Guimarães J. T. F., Leite A. S., Salomão G. N., Souza-Filho P. W. M., Júnior W. N., Dall'Agnol R. Multivariate statistics and geochemical approaches for understanding source-sink relationship – a case study from close-basin lakes in Southeast Amazon. // *J. S. Am. Earth Sci.* – 2020. – Vol. 99. – Article 102497. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102497
19. Semenov S. V., Balaev D. A., Shaykhutdinov K. A., Rogozin D. Yu. Day plots of bacterial magnetite from sediments of Shira lake (Khakassia, Russia). // *Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics.* – 2017. – Vol. 10(2). – pp. 252-256. DOI: 10.17516/1997-1397-2017-10-2-252-256
20. Sonfack N. A., Ngueutchoua G., Kontchipe Ngagoum Y. S., Temgo Sopia F., Nkouathio D. G., Wouatong A. S. L., Tchatchueng R., Nguemo Kenfack G. R., Njanko T. Mineralogical and geochemical signatures of surface stream sediments from Dibamba River basin, SW Cameroon: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. // *Journal of African Earth Sciences.* – 2021. – Vol. 181. – 104251. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2021.104251
21. Welch C., Barbour S. L., Hendry M. J. The geochemistry and hydrology of coal waste rock dumps: a systematic global review. // *Sci. Total Environ.* – 2021. – Vol. 795. – Article 148798. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148798

References

1. Valkov V. F., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Soils of the South of Russia. Rostov-on-Don: Everest, 2008. 276 p. (In Russ.)
2. Gavrishin A. I. Assessment of the quality of the chemical composition of surface waters in the Eastern Donbass. *Geocology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology.* 2019. No. 4. pp. 61-67. DOI: 10.31857/S0869-78092019461-67 (In Russ.)
3. Gavrishin A. I. The mine water in the management of groundwater pollution in the Eastern Donbass. *Geology and geophysics of Russian South.* 2020. Vol. 10. No. 3. pp. 127-138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008 (In Russ.)
4. Gavrishin A. I., Borisova V. E., Toropova E. S. Distribution of chemical composition of mine waters in the Eastern Donbass. *Geology and geophysics of Russian South.* 2018. No. 2. pp. 5-15. DOI: 10.23671/VNC.2018.2.13923 (In Russ.)
5. Davydenko D. B., Parada S. G. Experience of Dividing Potential Fields of Donbass into Background, Residual and Local Components and some Results of Interpretation. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 22-27. DOI: 10.46698/VNC.2021.23.67.003 (In Russ.)
6. Zakrutkin V. E. High-carbon formations of the Early Precambrian of the European part of the USSR. Rostov-on-Don. SFU, 1982. 286 p. (In Russ.)
7. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Yu., Bakaeva E. N., Reshetnyak O. S., Gibkov E. V., Fomenko N. E. Surface and underground waters within the technogenically disturbed geosystems

of the Eastern Donbass: formation of the chemical composition and quality assessment: monograph. Rostov-on-Don. SFU, 2016. 172 p. (In Russ.)

8. Zubova L.G., Zubov A.R., Zubov A.A., Kharlamova A.V., Vorobyov S.G., Makarishina Yu.I., Bunyachenko V.V. Waste heaps: monograph. Lugansk, Knowledge, 2015. 712 p. (In Russ.)

9. Mokhov A. V. Some aspects of the application of the method of hydrogeological analogies to ensure the industrial development of coal deposits by the underground method. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2016. No. 4. pp. 94-101. (In Russ.)

10. Mokhov A. V. On the origin and morphology of Z-shaped splitting of coal deposits (on the example of Eastern Donbass). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 4. pp. 121-134. (in Russ.)

11. Pogrebnov N.N., Ochertenko I.A., Troshchenko V.V. Structural geology of the Donetsk coal basin. Moscow. Nedra, 1985. 149 p. (In Russ.)

12. Kolomensky G. Yu., Gipich L. V., Kolomenskaya V.G. Technogenic deposits. Problems and prospects of the integrated development of the mineral resources of the Eastern Donbass. Rostov-on-Don. SSC RAS, 2005. pp. 85-101. (In Russ.)

13. Sidarenko D.P. The intensity of erosion processes in Rostov Region. *Ecology and water management*. 2020. No. 2. Issue 5. pp. 86-102. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-86-102 (In Russ.)

14. Solntseva N.P., Nikiforova E.M. Influence of technogenic flows on the geochemistry of forest soils (in connection with coal mining). *Mining and geochemistry of natural ecosystems*. Moscow. Nauka, 1982. pp. 82-119. (In Russ.)

15. Clark E.V., Daniels W.L., Zipper C.E., Eriksson K. Mineralogical influences on water quality from weathering of surface coal mine spoils. *Appl Geochem*. 2018. Vol. 91. pp. 97-106. DOI: 10.1016/j. apgeochem. 2018.02.001.

16. Fabris A.-S., Larouche P., Montero-Serrano J.-C. Characterization of suspended matter size and composition in the St. Lawrence Estuary (eastern Canada). *Regional Studies in Marine Science*. 2021. Vol. 45. 101838. DOI: 10.1016/j. rsma. 2021.101838.

17. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.* 1988. Vol. 58. pp. 820-829. DOI: 10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D.

18. Moraes A.M., Sahoo P.K., Guimarães J.T. F., Leite A.S., Salomão G.N., Souza-Filho P.W. M., Júnior W.N., Dall'Agnol R. Multivariate statistics and geochemical approaches for understanding source-sink relationship – a case study from close-basin lakes in Southeast Amazon. *J. S. Am. Earth Sci.* 2020. Vol. 99. Article 102497. DOI: 10.1016/j. jsames. 2020.102497.

19. Semenov S. V., Balaev D.A., Shaykhutdinov K.A., Rogozin D. Yu. Day plots of bacterial magnetite from sediments of Shira lake (Khakassia, Russia). *Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics*. 2017. Vol. 10. No. 2. pp. 252-256. DOI: 10.17516/1997-1397-2017-10-2-252-256.

20. Sonfack N.A., Ngueutchoua G., Kontchipe Ngagoum Y. S., Temgo Sopia F., Nkouathio D. G., Wouatong A.S. L., Tchatchueng R., Nguemo Kenfack G.R., Njanko T. Mineralogical and geochemical signatures of surface stream sediments from Dibamba River basin, SW Cameroon: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of African Earth Sciences*. 2021. Vol. 181. 104251. DOI: 10.1016/j. jafrearsci. 2021.104251.

21. Welch C., Barbour S.L., Hendry M.J. The geochemistry and hydrology of coal waste rock dumps: a systematic global review. *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 795. Article 148798. DOI: 10.1016/j. scitotenv. 2021.148798.