

Д.Л. Голованов^{1*}, Е.И. Кравченко², С. Кушербаев³, А. Аманжолов³, А.Б. Мырзабаев³,
М.Ю. Ишмуратова³, А.Н. Матвеев⁴, Н.А. Мушникова¹, Л.В. Добрыднева¹

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия;*

² *ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Москва, Россия;*

³ *Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;*

⁴ *Жезказганский ботанический сад — филиал Института ботаники и фитоинтродукции, Жезказган, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: dm_golovanov@mail.ru*

Засоление, гипсоносность и загрязнение почв Жезказганского ботанического сада: 80 лет с момента организации и начала орошения

Целью исследования было выявление изменения свойств бурых аридных почв в условиях орошения и воздействия: выбросов обогатительного и медеплавильного комбинатов. В статье проанализировано современное состояние засоления, содержания гумуса, тяжелых металлов в почвах Жезказганского ботанического сада, находящегося в зоне интенсивных техногенных выбросов. Изменение свойств почв предопределяет устойчивость выращиваемых растений к природным и антропогенным стрессам, а также качество выращиваемой продукции. В Ботаническом саду подобраны растения, способные активно расти при орошении в резко континентальных условиях. За 80 лет функционирования отмечено частичное растворение гипса, перераспределение солей, увеличение содержания гумуса. Использование в качестве источника орошения загрязненных вод реки Кенгир привело к увеличению содержания в поверхностных горизонтах валовых и подвижных форм Cu и Pb. Полученные результаты позволяют оценить скорость и направленность перераспределения гипса, рекомендовать переход к водосберегающим технологиям капельного орошения с одновременным отстаиванием и удалением из оросительной воды взвеси.

Ключевые слова: засоление почв, загрязнение, мониторинг, водосберегающие технологии, капельное орошение.

Введение

Изменению свойств аридных почв в условиях орошения, так и результатам техногенного загрязнения посвящен значительный объем литературы [1–5]. В то же время анализ совместного воздействия на почвы этих факторов рассматривается реже, что определяет актуальность выполненной работы.

Целью исследования было выявление изменения свойств бурых аридных [6] или бурых пустынно-степных почв [7], находящихся одновременно в условиях орошения и техногенного воздействия. В статье анализируется засоление, содержание гумуса и тяжелых металлов в почвах Жезказганского ботанического сада (Улытауская область, Казахстан), находящегося в зоне интенсивных техногенных выбросов от обогатительного и медеплавильного комбинатов и их хвостохранилищ. Изменение свойств почв предопределяет устойчивость выращиваемых растений к природным и антропогенным стрессам, а также качество выращиваемой продукции.

Объекты и методы

Жезказганский ботанический сад организован по инициативе Е.М. Лавренко, И.К. Фортунатова при участии почвоведов У.У. Успанова и М.А. Глазовской [8]. Изучаемая территория относится к

юго-западной окраине Казахского мелкосопочника, расположенной в области полупустыни с резким преобладанием потенциального испарения над количеством осадков. Ботанический сад был заложен с двумя целями: обеспечение промышленного города свежими овощами и бахчевыми культурами и подбор древесно-кустарниковой растительности для озеленения промышленного города в условиях полупустыни с использованием орошения [9]. Город Жезказган построен на месте уникального медно-рудного месторождения для добычи и переработки меди, разработка которой началась в начале XX века [10].

Климат Жезказганского региона отличается резкой континентальностью [11]. Амплитуда температуры воздуха достигает 80°C . Зимний период ограничивается периодом от декабря до середины марта, наибольшие отклонения температур наблюдаются осенью и весной. Началом теплого сезона можно считать 1 апреля, его концом — 1 ноября. Средняя продолжительность теплого сезона 214 дней. Средняя температура самого теплого месяца июля в г. Жезказгане составляет $+23^{\circ}\text{C}$ тепла, самого холодного января $-14,5^{\circ}\text{C}$ мороза. В отдельные годы отмечено понижение температуры до -50°C мороза и ее повышение до $+47^{\circ}\text{C}$ тепла. В г. Сатпаеве средние температуры июля зафиксированы на уровне $+21,3^{\circ}\text{C}$, а января $-17,0^{\circ}\text{C}$ мороза. Устойчивый снежный покров образуется к концу ноября, его полное разрушение происходит во 2-ой декаде апреля. Глубина снежного покрова незначительна — 5–15 см.

Относительная влажность воздуха в г. Жезказгане колеблется от 80 до 40 %, причем минимумы приходятся на середину лета.

Рекогносцировочное обследование почв Ботанического сада и его окрестностей было проведено авторами в октябре 2021 года (рис. 1).



Рисунок 1. Жезказганский ботанический сад. Точки опробования

Ботанический сад расположен в 2 км к юго-востоку от города Жезказгана. Орошение осуществляется поливом по бороздам и дождеванием из шланга. Источником орошения служат воды реки Кенгир ниже водохранилища и промышленной зоны. К северо-востоку от Ботанического сада находятся шламоотвалы обогатительной фабрики.

В июне 2022 г. проведено повторное обследование почв Жезказганского ботанического сада с описанием почвенных профилей и диагностикой почв по Классификации и диагностике почв СССР (1977) [7] и России [8, 12]. Выполнено детальное описание опорного разреза (Ж-14).

Из реки Кенгир отобраны пробы воды, используемой на орошение. Анализ состава вод проведен на жидкостном хроматографе в Эколого-геохимическом центре географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

В почвах морфологически и аналитически диагностирован гипс, проведен экспресс-анализ почв на засоление с использованием рН и TDS-метров фирмы Hanna Instruments. Сера, предположительно в форме сульфатов в почвах и сульфидов в незасоленных породах, определялась методом РФА-анализа. Этим же методом были получены результаты по содержанию тяжелых металлов и металлоидов. Картографическая обработка результатов выполнена в программе SAGAGIS. Для интерполяции был использован метод «обратно взвешенного расстояния».

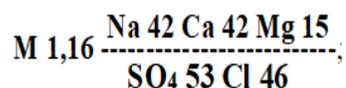
Результаты и их обсуждение

По результатам детального морфологического описания почва разреза Ж-14 была определена как бурая (аридная) постагрогенная сегрегационная солонцеватая гипс-содержащая среднесуглинистая на щебнистых суглинистых отложениях.

Базируясь на схематической карте глубины залегания морфологических проявлений гипса, составленной по результатам бурения по сетке с учетом функционального зонирования территории Ботсада, можно констатировать, что на его орошаемой части верхняя поверхность проявления гипса понизилась на 20–50 см по сравнению с исходной глубиной около 40 см.

Воды реки Каракенгир имеют минерализацию более 1 г/л и неблагоприятное соотношение катионов даже в раннелетнее время, когда проводились исследования:

Формула Курлова для состава вод:



Воды кальциево-натриевые хлоридно-сульфатные. SAR=21,7 [13] — воды неблагоприятного качества [14], способствуют осолонцеванию почв. Однако в орошаемых почвах, по сравнению с исходным состоянием и фоновыми участками, несколько увеличилось содержание гумуса. Предварительный вывод вполне согласуется с ранее выявленными тенденциями в орошаемых почвах аридной зоны. В поверхностных горизонтах неорошаемых почв Ботанического сада содержание Cu, Pb и Zn близко к кларку (табл. 1, Ж 8).

Т а б л и ц а 1

Содержание элементов (мг/кг) в поверхностных образцах почв и ТПО по данным РФА-анализа (фрагмент)

№	S	Cl	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Ж1	769	276	62	39	726	31	1016	319	ND	170	243
Ж2	1023	ND	65	49	744	30	1546	385	ND	142	305
Ж3	1536	686	55	19	672	21	1877	134	10	114	196
Ж4	4140	532	71	18	604	32	1331	92	ND	138	214
Ж5	2459	586	66	43	897	37	470	199	18	295	140
Ж6	7032	19431	98	29	292	19	302	83	20	501	138
Ж7	1191	217	76	47	768	45	174	87	10	224	80
Ж8	1200	ND	39	26	448	34	30	55	12,6	952	15

В поверхностных горизонтах орошаемых почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) содержание меди и свинца превышает кларки в десятки раз (табл. 2, Ж 7)

Кларк концентрации (КК) элементов в поверхностных образцах почв и ТПО по данным РФА-анализа (фрагмент)

	S	Cl	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Ж1	0,8	0,4	0,6	0,4	0,9	0,6	38	4,2	-	0,6	14
Ж2	1,1	-	0,6	0,5	1,0	0,6	57	5,1	-	0,5	18
Ж3	1,6	1,1	0,5	0,2	0,9	0,4	70	1,8	1,8	0,4	12
Ж4	4,3	0,8	0,7	0,2	0,8	0,6	49	1,2	-	0,5	13
Ж5	2,6	0,9	0,6	0,5	1,2	0,7	17	2,6	3,2	1,1	8
Ж6	7,4	30,4	0,9	0,3	0,4	0,4	11	1,1	3,6	1,9	8
Ж7	1,2	0,3	0,7	0,5	1,0	0,9	6	1,2	1,8	0,8	5
Ж8	1,3	-	0,4	0,3	0,6	0,7	1,1	0,7	2,2	3,5	0,9
К*	953	640	106	92	770	50	27	75	5,6	270	17

*Примечание. К — кларк (мг/кг), согласно рекомендациям [15].

Превышение содержания элементов в орошаемых почвах по сравнению с неорошаемыми показано на графике (рис. 2). Так, накопление Cu и Pb составляет 5–6 раз. Активные водные мигранты — Cl, Se, Sr, Ca — выносятся из орошаемых почв. Для серы соблюдается баланс выноса и закрепления в почве.



Рисунок 2. Загрязнение орошаемых почв Жезказганского ботанического сада

Вода для орошения берется из реки Кенгир ниже плотины Кенгирского водохранилища, на берегу которого расположен город Жезказган, а непосредственно у плотины находится промышленная зона (рис. 1). В воде присутствует обогащенная загрязнителями взвесь. Шламоотвалы также накладывают свой отпечаток: в их «пустой» породе превышение кларка Cu составляет 50–70 раз, Pb до 20 раз (табл. 1, 2). Сейчас шламоотвалы изолированы для предотвращения «пыления». Ранее оловый перенос пыли вносил существенный вклад в поступление в почвы элементов. В почвах и ТПО наблюдается превышение ПДК валовых форм меди и свинца в десятки раз (рис. 3).

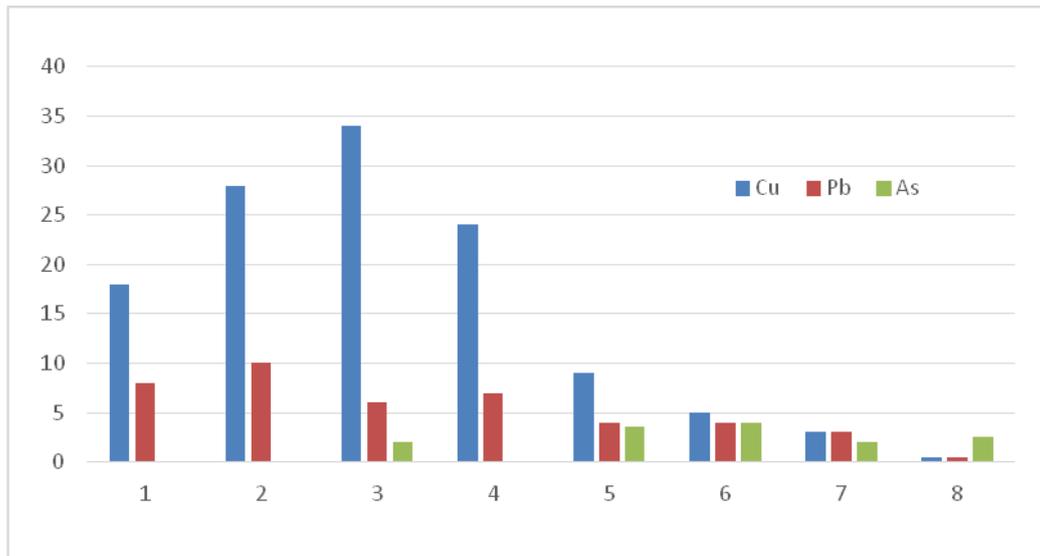


Рисунок 3. Превышения ПДК (раз) в почвах и ТПО окрестностей Жезказганского ботанического сада

Для уточнения эколого-геохимической оценки загрязнения планируется определение подвижных форм этих элементов. Для оптимизации орошения и решения задачи экономии воды в настоящее время начался переход к более прогрессивному методу орошения — капельному как в Ботаническом саду, так и в зеленой инфраструктуре города. При этом для предотвращения забивания отверстий трубок капельниц необходимо отстаивание взвеси для осветления воды. Сбор взвеси и ее анализ позволит оценить химизм и специфику ее химического и гранулометрического состава по сравнению с пылью шламоотвалов. Кроме того, в связи с изменением статуса города Жезказгана, возвращением ему уровня областного центра, расширением его зеленой инфраструктуры, возрастет потребность в материале для посадок. К Ботаническому саду потребуется добавить участок выше города по течению реки Кенгир и вне зоны пылевого воздействия шламоотвалов.

Заключение

Почвы Жезказганского ботанического сада находятся под двойным воздействием орошения и загрязнения. Орошение проводится по бороздам и дождеванием. За 80 лет функционирования отмечено частичное растворение гипса, перераспределение солей, увеличение содержания гумуса. Использование в качестве источника орошения воды реки Кенгир привело к увеличению содержания в поверхностных горизонтах меди, свинца и мышьяка. Полученные результаты позволяют оценить скорость и направленность перераспределения солей и гипса, рекомендовать переход к водосберегающим технологиям капельного орошения с одновременным отстаиванием и удалением из оросительной воды взвеси, загрязненной тяжелыми металлами.

Список литературы

- 1 Горохова И.Н. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий / И.Н. Горохова, Н.Б. Хитров, К.О. Прокопьева и др. // Почвоведение. — 2018. — № 8. — С. 1–12.
- 2 Кошелева Н.Е. Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, С.Н. Бажа и др. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2010. — № 3. — С. 20–27.
- 3 Приходько В.Е. Почвенные процессы на разных структурных уровнях организации и диагностика их изменений при орошении / В.Е. Приходько, Д.В. Манахов // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. — 2010. — № 2. — С. 8–17.
- 4 Фоменко Т.Г. Дифференциация свойств черноземных почв при локальных способах орошения и применения удобрений / Т.Г. Фоменко, В.П. Попова, А.И. Иванов // Проблемы агрохимии и экологии. — 2012. — № 4. — С. 8–13.
- 5 Воротынцева Л.И. Особенности почвообразования чернозема обыкновенного в постирригационный период / Л.И. Воротынцева // Почвоведение и агрохимия. — 2016. — № 1 (56). — С. 60–73.
- 6 Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. — Смоленск: Изд-во «Ойкумена», 2004. — 342 с.

- 7 Егоров В.В. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова и др. — М.: Колос, 1977. — 221 с.
- 8 Ишмуратова М.Ю. Рекомендации по созданию и уходу за зелеными насаждениями в условиях Жезказганского промышленного региона / М.Ю. Ишмуратова, А.Н. Матвеев, С.У. Тлеукунова. — Караганда: Изд-во Караганд. ун-та, 2021. — 50 с.
- 9 Биржанов М.Б. Интродукция растений в Жезказгане / М.Б. Биржанов // В сб. Интродукция полезных растений в Казахстане. — Алма-Ата: Наука, 1972. — С. 21–26.
- 10 Чухров Ф.В. Рудные месторождения Жезказгано-Улутаевского района в Казахстане / Ф.В. Чухров. — М.– Л.: Изд-во АН СССР, 1940. — 120 с.
- 11 Урумов Т.М. Краткая географическая и климатологическая характеристика Жезказганского промышленного района / Т.М. Урумов // В кн. Большой Жезказган. — Алматы: Полиграфкомбинат, 1994. — С. 14–16.
- 12 Полевой определитель почв. — М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. — 182 с.
- 13 Allison L.E. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils / L.E. Allison, J.W. Brown, H.E. Hayward, L.A. Richards, L. Bernstein, M. Fireman, G.A. Pearson, L.v. Wilcox, C.A. Bower, J.T. Hatcher, R.C. Reeve. — Washington, 1954. — P. 65–68.
- 14 Панкова Е.И. Экологические требования к качественному составу оросительных вод, обеспечивающих предотвращение засоления и осолонцевания почв / Е.И. Панкова. — М.: ЦНТМПИР, 1995. — 33 с.
- 15 Касимов Н.С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2015. — № 2. — P. 7–17.

Д.Л. Голованов, Е.И. Кравченко, С. Кушербаев, А. Аманжолов, А.Б. Мырзабаев,
М.Ю. Ишмуратова, А.Н. Матвеев, Н.А. Мушникова, Л.В. Добрыднева

Жезқазған Ботаникалық бағының сортаңдануы, гипстелуі және топырақтың ластануы: ұйымдастырылғанына 80 жыл және суландырудың басталуы

Зерттеудің мақсаты суару және әсер ету кезіндегі қоңыр құрғақ топырақтардың қасиеттерінің өзгерістерін анықтау, яғни мыс балқыту және өңдеу зауыттарының шығарындылары негізінде. Мақалада интенсивті техногендік шығарындылар аймағында орналасқан Жезқазған Ботаникалық бағының топырақтарының сортаңдануы, қарашірік құрамы, ауыр металдардың қазіргі жағдайы талданған. Топырақ қасиеттерінің өзгеруі өсірілген өсімдіктердің табиғи және антропогендік әсерлерге төзімділігін, сондай-ақ өсірілген өнімнің сапасын анықтайды. Ботаникалық бақта күрт континентальды жағдайда суару кезінде белсенді өсуге қабілетті өсімдіктер таңдалды. 80 жыл ішінде гипстің ішінара еруі, тұздардың қайта бөлінуі, қарашіріктің көбеюі байқалды. Суару көзі ретінде Кенгір өзенінің ластанған суларын пайдалану жерүсті горизонттарында Си және Рb жалпы және жылжымалы түрлерінің мөлшерінің артуына әкелді. Алынған нәтижелер гипстің қайта бөліну жылдамдығы мен бағытын бағалауға, суармалы суынан суспензияны бір мезгілде тұндыру және жою арқылы суды үнемдейтін тамшылатып суару технологиясына көшуді ұсынуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: топырақтың сортаңдануы, суару, ластану, бақылау.

D.L. Golovanov, E.I. Kravchenko, S. Kuserbayev, A. Amanzholov, A.B. Myrzabayev, M.Yu. Ishmuratova, A.N. Matveev, N.A. Mushnikova, L.V. Dobryднева

Salinization, gypsum content and pollution of soils in the Zhezkazgan Botanical Garden 80 years since its organization and start of irrigation

This study aims to identify changes in the properties of brown arid soils under irrigation conditions and the effects of emissions from enrichment and copper smelting plants. The article analyzes the current state of salinization, humus content, heavy metals in the soils of the Zhezkazgan Botanical Garden, located in the zone of intensive anthropogenic emissions. The change in soil properties determines the resistance of cultivated plants to natural and anthropogenic stresses, as well as the quality of grown products. The botanical garden has selected plants that can actively grow under irrigation in sharply continental conditions. For 80 years of operation, partial dissolution of gypsum, redistribution of salts, and an increase in humus content have been noted. The use of polluted waters of the Kengir River as an irrigation source has led to an increase in the content of gross and mobile forms of Cu and Pb in the surface horizons. The results obtained allow us to assess the speed and direction of gypsum redistribution, recommend the transition to water-saving drip irrigation technologies with simultaneous sedimentation and removal of suspended matter from irrigation water.

Keywords: soil salinity and gypsum content of soils, irrigation, man-made pollution.

References

- 1 Gorokhova, I.N., Khitrov, N.B., & Prokopeva, K.O. et al. (2018). Pochvennyi pokrov Svetloiarskoi orositelnoi sistemy cherez polveka meliorativnykh vozdeistvii [Soil cover of the Svetloyarskaya irrigation system after half a century of reclamation impacts]. *Pochvovedenie — Soil Science*, 8; 1–12 [in Russian].
- 2 Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S., & Bazha, S.N. et al. (2010). Zagriaznenie pochv tiazhelymi metallami v promyshlennykh gorodakh Mongolii [Heavy metal soil pollution in industrial cities of Mongolia]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiia — Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography*, 3; 20–27 [in Russian].
- 3 Prikhodko, V.E., & Manakhov, D.V. (2010). Pochvennye protsessy na raznykh strukturnykh urovniakh organizatsii i diagnostika ikh izmenenii pri oroshenii [Soil processes at different structural levels of the organization and diagnostics of their changes during irrigation]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie — Bulletin of the Moscow University. Series 5. Soil science*, 2, 8–17 [in Russian].
- 4 Fomenko, T.G., Popova, V.P., & Ivanov, A.I. (2012). Differentsiatsiia svoistv chernozemnykh pochv pri lokalnykh sposobakh orosheniia i primeneniia udobrenii [Differentiation of properties of chernozem soils in local methods of irrigation and application of fertilizers]. *Problemy agrokhimii i ekologii — Problems of agro chemistry and ecology*, 4, 8–13 [in Russian].
- 5 Vorotyntseva, L.I. (2016). Osobennosti pochvoobrazovaniia chernozema obyknovennogo v postirrigatsionnyi period [Features of soil formation of common chernozem in the post-irrigation period]. *Pochvovedenie i agrokhiimiia — Soil science and agrochemistry*, 1 (56); 60–73 [in Russian].
- 6 Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., & Gerasimova, M.I. (2004). *Klassifikatsiia i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia]*. Smolensk: Izdatelstvo «Oikumena» [in Russian].
- 7 Egorov, V.V., Fridland, V.M., & Ivanova, E.N. et al. (1977). *Klassifikatsiia i diagnostika pochv SSSR [Classification and diagnostics of soils in the USSR]*. Moscow: Kolos [in Russian].
- 8 Ishmuratova, M.Yu., Matveev, A.N., & Tleukenova, S.U. (2021). *Rekomendatsii po sozdaniiu i ukhodu za zelenymi nasazhdeniiami v usloviakh Zhezkazganskogo promyshlennogo regiona [Recommendations for the creation and care of green spaces in the conditions of the Zhezkazgan industrial region]*. Karaganda: Izdatelstvo Karagandinskogo universiteta [in Russian].
- 9 Birzhanov, M.B. (1972). Introduktsiia rastenii v Dzhezkazgane [Plant introduction in Zhezkazgan]. *V sbornike: Introduktsiia poleznykh rastenii v Kazakhstane — In Book: Introduction of useful plants in Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka, 21–26 [in Russian].
- 10 Chukhrov, F.V. (1940). *Rudnye mestorozhdeniia Dzhezkazgano-Ulutaevskogo raiona v Kazakhstane [Ore deposits of Dzhezkazgan-Ulutaevsky district in Kazakhstan]*. Moscow–Leningrad: Izdatelstvo Akademii nauk SSSR [in Russian].
- 11 Urumov, T.M. (1994). Kratkaia geograficheskaia i klimatologicheskaia kharakteristika Zhezkazganskogo promyshlennogo raiona [Brief geographical and climatological characteristics of Zhezkazgan industrial region]. *V knige: Bolshoi Zhezkazgan — in Book: A Great Zhezkazgan*. Almaty: Poligrafkombinat, 14–16 [in Russian].
- 12 (2008). *Polevoi opredelitel pochv [Field soil determinant]*. Moscow: Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva [in Russian].
- 13 Allison, L.E., Brown, J.W., Hayward, H.E., Richards, L.A., Bernstein, L., Fireman, M., Pearson, G.A., Wilcox, L.v., Bower, C.A., Hatcher, J.T., & Reeve, R.C. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Washington.
- 14 Pankova, E.I. (1995). *Ekologicheskie trebovaniia k kachestvennomu sostavu orositelnykh vod, obespechivaiushchikh predotvrashchenie zasoleniia i osolontsevaniia pochv [Environmental Requirements for the Quality Composition of Irrigation Waters Ensuring the Prevention of Soil Salinization and Sedimentation]*. Moscow [in Russian].
- 15 Kasimov, N.S., & Vlasov, D.V. (2015). Klarki khimicheskikh elementov kak etalony srabneniia v ekogeokhimii [Clarks of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiia — Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography*, 2, 7–17 [in Russian].