

УДК 502.64 (477.75)

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ (РАЙОН РАЗМЕЩЕНИЯ ГАЗОПРОВОДА ДЖУБГА–ЛАЗАРЕВСКОЕ–СОЧИ)

© 2020 г. С. Г. Миронюк*

*Центр анализа сейсмических данных МГУ им. М. В. Ломоносова (ЦАСД МГУ),
ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 77, Москва, 119234 Россия*

**E-mail: mironyuksg@gmail.com*

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

Обобщены материалы инженерно-экологических изысканий (2000–2008 гг.) на сухопутных и морском участках газопровода “Джубга–Лазаревское–Сочи”. В приморье они включали геоэкологическое опробование и оценку загрязненности почв, грунтов, поверхностных и подземных вод. Вдоль морской трассы газопровода выполнены: океанографическая съемка, отбор проб воды и донных осадков, комплекс химико-аналитических исследований проб на борту судна и в стационарных лабораториях. Особое внимание уделялось изучению в компонентах природной среды тяжелых металлов первого класса опасности. Выявлены некоторые закономерности их распространения в морской среде. Выполненные работы в прибрежных водах кавказского побережья показали, что техногенное влияние в этом регионе является фактором, в значительной степени определяющим геоэкологическую обстановку на шельфе. Произведена оценка эколого-геологической обстановки морской среды Черного моря в районе прокладки газопровода.

Ключевые слова: *Черное море, шельф, газопровод “Джубга–Лазаревское–Сочи”, инженерно-экологические изыскания, морская вода и донные грунты, тяжелые металлы и мышьяк*

DOI: 10.31857/S0869780920010123

В ходе разработки предпроектной документации строительства газопровода “Джубга–Лазаревское–Сочи” (ДЛС) (2002–2003 гг.) рассматривались два варианта его размещения – на суше и в море. Сухопутный вариант строительства намечался в приморской зоне в пределах области низкорельефных хребтов южного склона Северо-Западного Кавказа. Однако высокая стоимость проектно-изыскательских работ в условиях горного рельефа, наличие многочисленных особо охраняемых природных территорий, которые должна была пересекать намеченная трасса ДЛС не позволили его реализовать. С целью сокращения протяженности трассы, снижения затрат на строительство и эксплуатацию, повышения уровня промышленной безопасности, уменьшения экологического ущерба в 2004 г. было принято решение о строительстве газопровода ДЛС на шельфе Черного моря, и в 2011 г. он был введен в эксплуатацию.

Протяженность ДЛС – 171.6 км, при этом 90% трассы приходится на морской участок. Газопровод проходит вдоль черноморского побережья в средней части шельфа на расстоянии примерно в 4.5 км от берега на глубине от 50 до 75 м (рис. 1).

Здесь развиты преимущественно глинистые и суглинистые илы. Они являются естественным основанием газопровода практически на всем его протяжении. Способ укладки газопровода (в морской части): на глубинах более 50 м на дно без заглубления; на глубинах менее 50 м – с заглублением. Началом трассы газопровода на суше – точка врезки в магистральный газопровод Россия–Турция (Голубой поток) в районе п. Джубга. Газопровод имеет выходы на сушу также в районе населенных пунктов Новомихайловский, Туапсе и Кудепста.

В составе изыскательских работ для разработки проекта строительства газопровода были выполнены инженерно-экологические изыскания (ИЭИ). Этому виду изысканий в ходе реализации проекта уделялось особое внимание, учитывая близость к трассе газопровода крупнейших рекреационных зон России. В состав ИЭИ на суше входили экологическое дешифрирование аэрокосмических материалов, эколого-гидрогеологические исследования, геоэкологическое опробование и оценка загрязненности почв, грунтов, поверхностных и подземных вод. Основной целью геоэкологических работ в пределах акватории

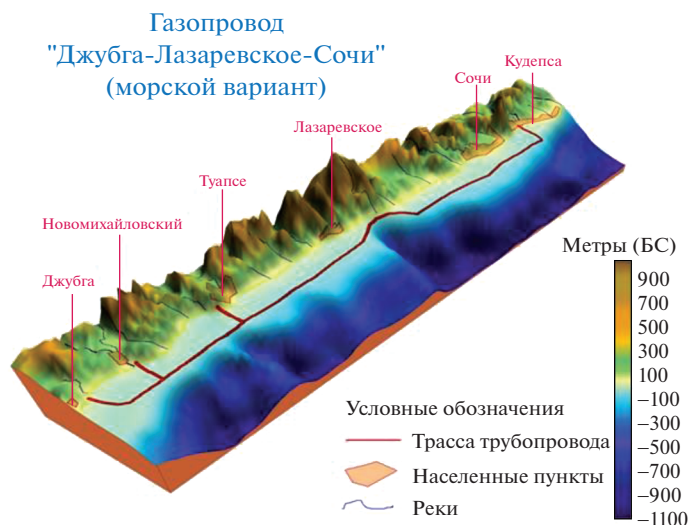


Рис. 1. Ситуационный план расположения газопровода Джубга–Лазаревское–Сочи.

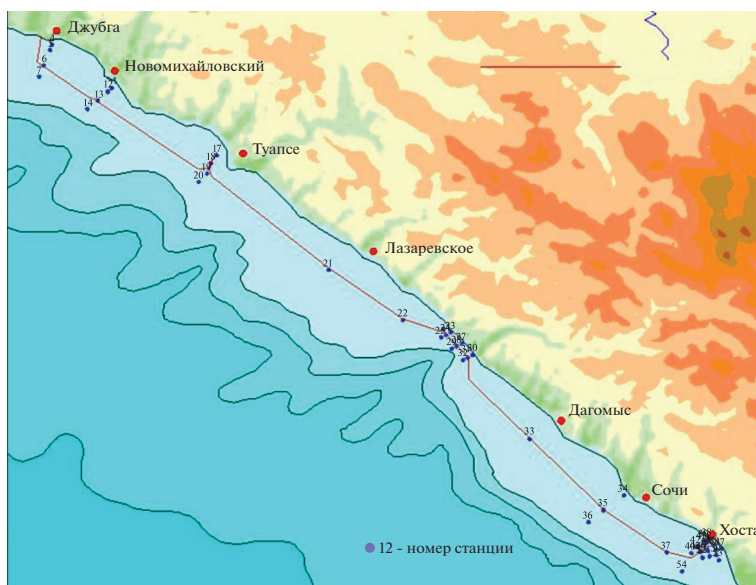


Рис. 2. Схема отбора проб донных осадков и морской воды на трассе газопровода ДЛС.

было определение фоновых гидрологических и гидрохимических характеристик морской воды, донных осадков и современного уровня их химического загрязнения. Работы выполнялись вдоль трассы газопровода ДЛС на станциях по определенной схеме (рис. 2).

Изучение фоновых гидрологических и гидрохимических параметров морской воды включало определение: температуры, солености, растворенного кислорода, рН, нитратов, нитритов, аммонийного азота, растворенного неорганического фосфора, растворенного неорганического кремния, растворенного метана. Концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в морской воде определялись для: нефтяных углеводородов (НУ), полиядерных ароматических углеводородов (ПАУ),

СПАВ, тяжелых металлов (ТМ). В донных грунтах анализировалось содержание НУ, ПАУ, фенолов, СПАВ, ТМ (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg), метана и его гомологов.

Для работ по исследованию гидрологических, гидрохимических и геохимических характеристик морской среды были задействованы научно-исследовательские суда (НИС) "Акванавт", "Импульс", "Янтарь" и др. На НИС выполнялись стандартные гидрофизические измерения зондирующим комплексом "Rosetta" по сети, предусмотренной техническим заданием (ТЗ). В состав комплекса входил гидрофизический зонд "Sea Bird-19" фирмы Sea-Bird Electronics, Inc., США. Пробы морской воды отбирались на каждой станции опробования одновременно со всех преду-

смотренных ТЗ горизонтов пластиковыми пятилитровыми батометрами Нискина в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85¹. Для определения содержаний тяжелых металлов на борту судна пробу воды замораживали и доставляли в береговую лабораторию.

Отбор проб для исследования донных осадков с борта судна осуществлялся дночерпателем “Океан-0.25” или прямоочными грунтовыми трубками. В каждой точке отбора донных осадков, как правило, поднимались два керна.

Аналитические работы проводились в два этапа: на борту судна (определение содержаний кислорода, нефтепродуктов, биогенных элементов, СПАВ) и в стационарной лаборатории (определение содержаний ТМ, углеводородных газов (УВГ), фенолов и т.д.). Для оценки состояния донных отложений использовались критерии указанные в РД 51-01-11-85².

Основными заказчиками лабораторных работ являлись ООО “Питер Газ” и ЗАО “ИЭЦ “Эконефтегаз”, а субподрядчиками – сертифицированные лаборатории ГНЦ ФГУГП “Южморгеология”, НИИ прикладной и экспериментальной экологии Кубанского ГАУ, ЮО ИО РАН (Лаборатория химии) и др.

Содержание Zn, Pb, Cd, Cu определялось согласно РД 52.18.191-89³. Содержание Hg в осадках определялось атомно-абсорбционным методом по методике, приведенной в [6] на анализаторе ртути “Юлия”. Для оценки эколого-геологического состояния исследуемой акватории и составления схемы оценки эколого-геологической опасности (обстановки) использовались действующие ПДК для воды водоемов рыбохозяйственного назначения, интенсивность и масштаб проявления опасных геологических процессов согласно Методическому руководству⁴ и другие критерии.

В ходе ИЭИ особое внимание уделялось изучению ТМ в морской среде. К таковым Н.Ф. Реймерс [5] относил Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg., Как известно, ТМ обладают повышенным токсическим воздействием на живые организмы

и по оценкам стресс-индексов, наряду с пестицидами, занимают приоритетное место среди ЗВ [3].

Не случайно проблеме воздействия ТМ на биоценозы и отдельные группы гидробионтов, в том числе в Черном море, посвящена обширная литература [1, 2, 4, 6, 7]. В настоящей статье приводятся основные результаты оценки уровня загрязнения и особенности пространственного распределения ТМ в донных отложениях и воде в пределах северо-восточного шельфа Черного моря. Рассматриваются концентрации в средах, в основном, ТМ первого класса опасности (высокоопасные): Pb, Zn, Cd, Hg, а также As. Степень токсичности металлов для основных групп гидробионтов различна. Для ихтиофауны наиболее опасны Pb, Hg и особенно Cd.

Приведены также данные о концентрации ТМ в ландшафтах суши. В приморье, где расположены бассейны рек, стекающих в Черное море, анализировалось содержание ТМ в почвах, грунтах, поверхностных водотоках и подземных водах. На сухопутных участках трассы газопровода (“Джубга”, “Новомихайловский”, “Туапсе” и “Кудепста”) практически во всех пробах выявлены превышения ПДК по Mn (до 26 ПДК) и Fe (до 25 ПДК) (рис. 3), что обусловлено природной особенностью подземных вод Азово-Кубанского артезианского бассейна.

Содержание химических элементов I класса опасности (Pb, Zn, Hg, Cd) в поверхностных водах района изысканий (р. Джубга, Шель Свистунова и др.) значительно ниже ПДК. Так, например, отношение концентрации Pb к ПДК составляет 0.01–0.07. Степень загрязнения почв ТМ (бурых лесных, аллювиально-луговых и желтоземов) составляет 0–2. Повсеместно наблюдается превышение ПДК (с учетом фона) содержание Cu, Zn и Ni. Высокий фоновый уровень содержания Zn и Ni в почвах, вероятно, обусловлен особенностями химического состава почвообразующих пород. В них на глубине 2–5 м концентрация указанных элементов, как правило, превышает ПДК.

Характеристика качества морской воды приводится на основе ИЭИ 2005–2007 гг. В ряде случаев привлечены материалы ИЭИ 2008 г. Исследования проводились по всей толще морских вод в интервале глубин 10–100 м. Станции отбора проб представлены на рис. 2.

В 2005–2007 гг. As в придонной воде в значенных выше уровня ПДК не был зафиксирован. Максимальное содержание указанного элемента выявлено в устьевых зонах рек Шахе (гл. моря 15 м) и Мзымта (гл. моря 30 м). Согласно данным ИЭИ 2008 г. содержание As в морской воде изменяется в диапазоне от 0.8 до 14.5 мкг/л ($\text{ПДК}_{\text{вр}} = 10 \text{ мкг/л}$). Максимальные содержания As отмечены в поверхностном слое водной толщи на пяти станциях на траверзе п. Новомихайловский и р. Нечепсуго ($\text{As} = 8.3 \text{ мкг/л}$), на траверзе п. Лаза-

¹ ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. М.: ФГУП “Стандартинформ”, 2010. 11 с. <http://docs.cntd.ru/document/1200008297>

² РД 51-01-11-85. Экологические исследования при инженерных изысканиях на континентальном шельфе. Требования к методам и результатам. М.: Мингазпром СССР, 1986. <http://docs.cntd.ru/document/1200054003>

³ РД 52.18.191-89. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М.: Госкомгидромет, 1990. <http://docs.cntd.ru/document/12000485979>.

⁴ Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 1 000 000 (третьего поколения). СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 288 с. https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/method_rukovodstvo/mr1000.pdf

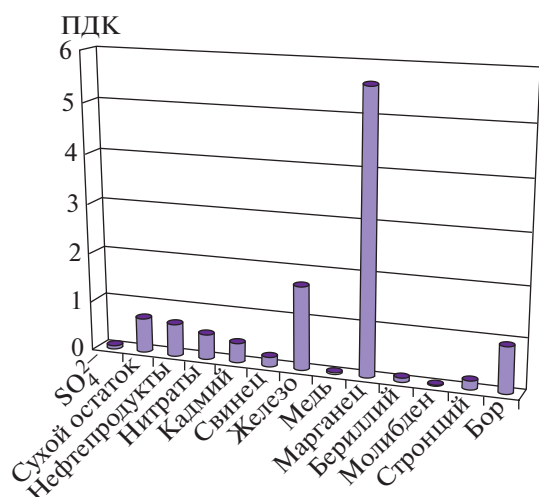


Рис. 3. Содержание загрязняющих веществ в подземных водах участка Туапсе в долях ПДК.

ревское и рек Псеуапсе и Шахе ($As = 14.38$ и 14.50 мкг/л соответственно), а также в прибрежной зоне г. Туапсе ($As = 11.8$ мкг/л). В распределении As в придонной воде существуют некоторые закономерности: максимальные содержания выявлены в прибрежной части, а минимальные в глубинных слоях.

Содержание Hg в придонной воде на порядок ниже ПДК ($ПДК_{вр} = 0.1$ мкг/л). Максимальные значения выявлены в интервале глубин $20-50$ м. Повышенные концентрации были выявлены на отдельных станциях в глубинных слоях воды в районе п. Джубга (гл. моря 85 м) и в районе г. Сочи на глубине 16 м. Заметные колебания в распределении Hg по акватории не установлены. Содержание Cd значительно ниже уровня ПДК ($ПДК_{вр} Cd = 10$ мкг/л) и составляет на глубине 50 м в районе г. Сочи 0.7 мкг/л, а вблизи каньона р. Шахе — 0.45 мкг/л (наибольшие значения). Наблюдается уменьшение содержания элемента в ЮВ направлении. В распределении Cd в придонной воде существует закономерность, аналогичная распределению As : максимальные его содержания выявлены в прибрежной части, а минимальные в глубинных слоях.

Максимальные содержания Pb были отмечены на отдельных станциях створа в устьевой зоне р. Шахе, где уровень его содержания превышает $ПДК_{вр}$ (гл. моря 15 м и 100 м).

Концентрация Zn во всей водной толще вод находилась значительно ниже $ПДК_{вр}$ равной 50 мкг/л. Максимальный уровень содержания Zn , близкий к значению ПДК, в придонной воде зафиксирован лишь на одной станции на глубине моря 50 м (район г. Сочи). Диапазон изменчивости этого металла по данным исследований в 2008 г. от 0.0 до 9.72 мкг/л, средняя концентрация составила 1.84 мкг/л.

По данным ООО “Питер Газ”, полученным в 2008 г. в рамках ИЭИ для строительства газопро-

вода ДЛС, можно сделать следующее заключение относительно содержания ТМ и мышьяка в донных отложениях.

Мышьяк. В донных отложениях As находился ниже предела обнаружения <0.10 мкг/кг. Величина допустимых концентраций (ДК) согласно используемым в Европе нормативам — “голландским листам” [8] для мышьяка — 29 мкг/кг.

Ртуть. Концентрации Hg изменялись по всей акватории от 0 до 0.02 мкг/г и не превышали ДК, установленных “голландскими листами” ($Hg = 0.3$ мкг/г).

Кадмий. Концентрация Cd на станциях находилась ниже ДК ($Cd = 0.8$ мкг/г) и изменялась от аналитического нуля до 0.1 мкг/г, средняя концентрация составила 0.04 мкг/г. Максимальная величина 0.1 мкг/г и общий повышенный фон содержания Cd в осадках, аналогичен распределению этого элемента в воде, т.е. в районе Сочи—Хоста. В целом по району исследований концентрации Cd в осадках значительно ниже ДК.

Свинец. Концентрация Pb в осадках изменялась в диапазоне от 7.3 до 28.8 мкг/г. Величина ДК для $Pb = 85$ мкг/г, т.е. превышение нормы не обнаружено.

Цинк. Превышение ДК цинка согласно “голландским листам” (140 мкг/г) во всех пробах грунта не обнаружено. Диапазон изменчивости этого металла $53.8-85.0$ мкг/г. Распределение по всему дну вдоль трассы газопровода достаточно равномерное.

По совокупности критериев оценки эколого-геологической обстановки изученный участок шельфа может быть отнесен к площадям преимущественно с напряженной (внутренняя подзона шельфа) и удовлетворительной (средняя и внешняя его подзоны) эколого-геологическими ситуациями. По материалам ИЭИ $2000-2008$ гг. не прослеживалась тенденция увеличения ТМ в воде и донных осадках вдоль трассы газопровода ДЛС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В., Демина Л.Л. Тяжелые металлы в шельфовой зоне морей России // Геоэкология шельфа и берегов морей России / Под ред. Н.А. Айбулатова. М.: Ноосфера, 2001. С. 328–359.
2. Гордеев В.В., Маккавеев Е.П., Коченкова А.И. Тяжелые металлы в воде и взвеси в устьях рек и прибрежной зоне российской части Кавказского побережья Чёрного моря // Вода: химия и экология. 2015. № 11 (89). С. 7–21.
3. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 528 с.
4. Куринная Ю.С., Каталевский Н.И., Геворкян Ж.В., Кораблина И.В. Загрязнение тяжелыми металлами и мышьяком донных отложений в прибрежной части Крымского полуострова в 2017 г. // ЭКОБИО—2018. Сб. матер. V научно-практ. молодежной конф. “Экобиологические проблемы Азово-Чер-

- номорского региона и комплексное управление биологическими ресурсами” (8–11 октября 2018 г.). Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2018. С. 101–103.
5. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
 6. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Чёрного моря / Под ред. И.Ф. Глумова, М.В. Кочеткова. М.: Недра, 1996. 502 с.
 7. Часовников В.К. Особенности сезонной изменчивости гидрохимических полей в северо-восточной части Черного моря // Наука Кубани. 2000. № 4(11). С. 51–57.
 8. Circular on target values and intervention values for soil remediation. The Hague, Netherlands. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment Report № DBO/1999226863.2000. URL: <http://www.es-dat.net/Environmental%20Standards> ... (дата обращения: 15.10.2019).

SPECIFICS IN HEAVY METAL DISTRIBUTION IN THE SHELF ZONE OF THE BLACK SEA (IN THE AREA OF DZHUBGA–LAZAREVSKOYE–SOCHI GAS PIPELINE)

S. G. Mironyuk[#]

Seismic Data Analysis Center, Lomonosov Moscow State University Leninskie gory 1, bld. 77, Moscow, 119234 Russia
[#]*E-mail: mironyuksg@gmail.com*

The data on engineering and ecological surveys on the land and sea sections of the gas pipeline “Dzhubga-Lazarevskoye-Sochi” are summarized for the years 2002–2008. They include geoecological testing and assessment of soil, subsoil, surface and groundwater contamination. Oceanographic surveys, sampling of water and bottom sediments, a complex of chemical and analytical studies of samples on shipboard and in stationary laboratories along the sea gas pipeline were performed. Special attention was paid to the study of heavy metals of the first class of hazard in the components of the natural environment. Some regularities of their distribution in the marine environment were revealed. The work performed in the coastal waters of the Caucasian coast elucidated that technogenic influence in this region is a factor that determines the geoecological situation on the shelf in many respects. The ecological and geological situation of the Black sea marine environment in the area of the gas pipeline has been assessed.

Keywords: *the Black sea, shelf, gas pipeline “Dzhubga-Lazarevskoye-Sochi”, engineering and environmental surveys, sea water and bottom soils, heavy metals and arsenic*

REFERENCES

1. Gordeev, V.V., Demina, L.L. *Tyazhelye metally v shel'fovoi zone morei Rossii* [Heavy metals in the shelf zone of the Russian seas]. *Geoekologiya shel'fa i beregov morei Rossii*. Moscow, Noosfera Publ., 2001, pp. 328–359. (in Russian)
2. Gordeev, V.V., Makkaveev, E.P., Kochetkova, A.I. *Tyazhelye metally v vode i vzyesi v ust'yakh rek i pribrezhnoi zone rossiiskoi chasti Kavkazskogo poberezh'ya Chernogo morya* [Heavy metals in water and suspensions in river mouths and coastal zone of the Russian part of the Caucasian coast of the Black Sea]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2015, no. 11 (89), pp. 7–21. (in Russian)
3. Izrael', Yu.A., Tsyban', A.V. *Antropogennaya ekologiya okeana* [Anthropogenic ecology of the ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, 528 p. (in Russian)
4. Kurinnaya, Yu.S., Katalevskii, N.I., Gevorkyan, Zh.V., Korablina, I.V. *Zagryaznenie tyazhelymi metallami i mysh'yakom donnykh otlozhenii v pribrezhnoi chasti Krymskogo poluostrova v 2017 g.* [Heavy metals and arsenic contamination of bottom sediments in the coastal part of the Crimean Peninsula in 2017]. *EKOBIО–2018. Sbornik materialov V nauchno-prakticheskoi molo-dezhnoi konferentsii “Ekobiologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona i kompleksnoe upravlenie biologicheskimi resursami” (8–11 oktyabrya 2018 g.)*. [Proceedings of the V sci. and pract. young professionals conference “Environmental problems of the Azov-Black Sea region and integrated management of biological resources” (October, 8–11, 2018)]. Sevastopol', Filial MGU v g. Sevastopole, 2018, pp. 101–103. (in Russian)
5. Reimers, N.F. *Prirodopol'zovanie: slovar'-spravochnik* [Environmental management: reference dictionary]. Moscow, Mysl' Publ., 1990, 637 p. (in Russian)
6. *Tekhnogennoe zagryaznenie i protsessy estestvennogo samoochishcheniya Prikavkazskoi zony Chernogo morya* [Technogenic pollution and processes of natural self-purification of the CisCaucasian zone of the Black Sea]. Moscow, Nedra Publ., 1996, 502 p. (in Russian)
7. Chasovnikov, V.K. *Osobennosti sezonnoi izmenchivosti gidrokhimicheskikh polei v severo-vostochnoi chasti Chernogo morya* [Features of seasonal variability of hydrochemical fields in the North-Eastern part of the Black Sea]. *Nauka Kubani*, 2000, no. 4 (11), pp. 51–57. (in Russian)
8. Circular on target values and intervention values for soil remediation. The Hague, Netherlands. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment Report № DBO/1999226863.2000. Available at: <http://www.es-dat.net/Environmental%20Standards>