

35. Regional standards "Background content of heavy metals in the soils of the Republic of Tatarstan". Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the RT of December 30, 2015 №1134-k.
36. Ryazanov S. S. The content and mobility of cadmium, cobalt and zinc in the humus horizons of the soils of the Republic of Tatarstan / S. S. Ryazanov, D. V. Ivanov, V. I. Kulagina, I. A. Sakhabiev // Bulletin of the Tomsk State University university. Biology. - 2017. - No. 4 (40). - P. 6-24.
37. Tigeev, A. A. Peculiarities of the soil cover of the Khilmigyakha river basin (Nadym-Purov interfluve) / A. A. Tigeev // Bulletin of the Tyumen State University. Science and Earth. - 2014. - №4. - P. 39-48.
38. Trifonova, T. A. Use of the Information-Analytical System in Soil-Ecological Studies, T. A. Trifonova, N. V. Mishchenko, D. A. Budakov, Journal of Soil Science. - 2007. - №1. - P. 23-30.
39. Umansky A. S. Soil cover of the ecosystems of the Deima River Basin / A. S. Umansky / Abstract of the thesis of Candidate of Biological Sciences, 2010. – 24 p.
40. Fatkullin A. S. Soils of the floodplain of the small rivers of Tataria / A. S. Fatkullin. - Kazan: Publishing House of KSU, 1968. – 204 p.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЛГО-УРАЛЬСКИХ ПЕСКОВ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗКАХ

Лапаева Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий инженер, Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Астрахань», 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, e-mail: irinalapaeva@rambler.ru

Андрианов Владимир Александрович доктор географических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: andrianov_v.a@mail.ru

Чивилева Дарья Евгеньевна начальник отдела, Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Астрахань» 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, e-mail: dchivileva@mail.ru

Дойников Роман Александрович инженер I категории, Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Астрахань» 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, e-mail: roman990@inbox.ru

Один из наиболее мощных видов техногенеза – разработка и эксплуатация углеводородных месторождений. В районе Волго-Уральских песков находится несколько газоконденсатных месторождений, самое крупное из которых - Астраханское. Эксплуатация месторождений ведет к формированию особых техногенных ландшафтно-геохимических систем, где происходит, как правило, рассеяние больших масс веществ с высоким содержанием элементов, которые, негативно воздействуют на природные системы. В аридных условиях пустыни воздействие на экосистемы осложняется лимитирующими факторами для живых организмов - недостатком влаги и бедностью почв. В работе рассмотрены геохимические особенности почв Астраханского песчаного массива в условиях длительной эксплуатации Астраханского газоконденсатного месторождения (с 2010 по 2017 г.), показана динамика накопления в почве таких микроэлементов - загрязнителей, как Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Hg. Авторами построены ранжированные ряды тяжелых металлов и рассмотрена возможная корреляция суммарного накопления микроэлементов в почвах с генеративной способностью мелко дерновинного злака *Anisanta tectorum* (L) Nevski.

Ключевые слова: почва, окружающая среда, Астраханский газовый комплекс, мониторинг, газоконденсатное месторождение, почвенный покров, тяжелые металлы, качество семян

GEOECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF VOLGO-URAL SANDS IN TECHNOGENIC LOADS

Lapaeva Irina V., C.Sc. in Biology, Leading engineer, Engineering and technical center LLC "Gazprom dobycha Astrakhan", 61a Savushkin st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: irinalapaeva@rambler.ru

Andrianov Vladimir A., D.Sc in Geography, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq, Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: andrianov_v.a@mail.ru

Chivileva Daria E., Head of Department, Engineering and technical center LLC "Gazprom dobycha Astrakhan", 61a Savushkin st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: dchivileva@mail.ru

Dojnikov Roman A. Engineer of the 1st category, Engineering and technical center LLC "Gazprom dobycha Astrakhan", 61a Savushkin st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: roman990@inbox.ru

One of the most powerful types of technogenesis is the development and operation of coal-hydrogen deposits. In the area of Volga - Ural Sands there are several gas condensate fields, the largest of which is Astrakhan. Exploitation of deposits leads to the formation of special technogenic landscape-geochemical systems, where, as a rule, scattering of large masses of substances with a high content of elements occurs, which negatively affect natural complexes. In the arid conditions of the desert, the impact on ecosystems is complicated by limiting factors for living organisms - lack of moisture and poor soil. Geochemical features of the soils of the Astrakhan sand massif under conditions of prolonged operation of the Astrakhan monitoring, gas condensate field (from 2010 to 2017) are considered. The dynamics of accumulation in the soil of such trace pollutants as Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Hg is shown. The authors constructed a ranked series of heavy metals and the possible correlation of the total accumulation of trace elements in soil c generative capacity *malkotarnovska cereal Anisanta tectorum (L) Nevski*

Keywords: soil, environment, Astrakhan gas complex, monitoring, gas condensate field, soil cover, heavy metals, seed quality

С точки зрения геохимической экологии, почва - звено биогеохимической трофической цепи, резервуар макро - и микроэлементов, используемых растениями и животными [8]. При почвообразовательном процессе не все химические элементы, содержащиеся в породе, аккумулируются почвой, часть их с почвенными растворами может мигрировать в другие места грунтовой толщи, там рассеиваться или, наоборот, концентрироваться [6,11,12].

Геохимические и почвообразовательные процессы в пустынях и степях чрезвычайно сложны и во многих случаях складываются неблагоприятно для почвенного плодородия. Почти полная минерализация органических остатков до углекислого газа, воды и простых солей определяет малое содержание восстановителей в почвах и водах. Главная геохимическая особенность пустыни – слабое влияние живого вещества на водную миграцию элементов. Бедность вод органическими веществами определяет их бедность свободной энергией, малую агрессивность. Нейтральные и слабощелочные, часто насыщенные растворы пустынь почти не обладают растворяющей способностью, поэтому воздействие вод на породы и почвы невелико. Поступление тяжелых металлов в почвенный покров определяет возможность дальнейшей их миграции в грунтовые воды, доступность растениям, создает потенциальную угрозу живым организмам, в том числе и человеку [7, 10].

В работе дан анализ динамики накопления тяжелых металлов в пустынных почвах на техногенной территории за длительный период времени и его влияние на растительные организмы. Для работы были выбраны исследования микро компонентного состава почв в течение восьми лет в районе эксплуатации Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ) с 2010 по 2017 годы. Почвообразующими породами на этой территории являются отложения поздне- и после хвалынского времени, характеризующиеся преимущественно легким гранулометрическим составом (песчаным и супесчаным). Астраханский газовый комплекс (АГК) расположен в пределах одного из песчаных массивов Батпайсагыр. Мощность песчаных отложений варьирует в пределах нескольких метров. Песчаные массивы сложены мелкозернистым светло - желтым песком. В некоторых местах они имеют прослойки шоколадных глин с друзами гипса, подстилаемых более светлым песком, почти всегда содержащим в верхней части большое количество ракушек [5]. Ветер – важный геохимический агент пустыни. Он переносит огромные массы вещества. Если проанализировать данные по скорости ветра в разные часы суток в районе АГКМ, то, очевидно, что максимальные скорости ветра - от 4 до 10 м/с наблюдаются в дневные часы, а минимальные - от 0,5 до 2,5 м/с в ночные [1].

Основным предназначением АГК является добыча и переработка пластовой смеси с получением серы, газа и жидких углеводородов, а также их транспортировка и реализация. Воздействие деятельности АГК на окружающую среду связано с выносом токсичных веществ при добыче, переработке и транспортировке сырья и продуктов переработки. Оценка загрязнения почв включала отбор проб на станциях, расположенных в 15-ти километровой зоне влияния Астраханского газоперерабатывающего завода (АГПЗ), рисунок. Фоновая территория находится вблизи населенного пункта Досанг. Отбор проб почв проводили с двух слоев – 0-5 и 5-20см в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. В водной вытяжке почвенных образцов определяли водородные ионы (рН), сульфаты (SO_4^{2-}). Наряду с легкорастворимыми компонентами было определено валовое содержание Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Hg. Концентрации металлов определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «МГА-915» [2].

Метод измерения предполагает перевод элементов из твердых объектов в раствор анализируемой пробы смесью сильных кислот и окислителей. Выбор способа разложения зависит от природы анализируемой пробы [9]. В современном массовом атомно-абсорбционном анализе пробы вносят в атомизатор в виде растворов. Способы рациональной и быстрой подготовки пробы здесь исключительно важны, поскольку сами измерения выполняются очень быстро, в особенности в автоматизированных установках [2]. С развитием уровня средств измерений и нормативной разрешающей нормативной базы изменяются пределы обнаружения и диапазоны измерений концентрации элементов, поэтому есть различия в численных величинах (таблица 1).

Всхожесть семян неравноцветника кровельного (*Anisanta tectorum*), отобранных на тех же стационарных площадках в районе АГПЗ, была определена в соответствии с ГОСТ 12038-84.

При оценке уровня загрязнения почв использованы следующие характеристики: коэффициент концентрации K_c и суммарный показатель загрязнения Z_c . K_c определяется отношением фактического содержания определенного вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому (C_ϕ):

$$K_c = C_i / C_\phi.$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1),$$

где n – число определяемых веществ; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения [4].

Результаты количественного химического анализа (КХА) показали, что реакция почвенной среды по всем площадкам и слоям была щелочная и варьировала от 7,7 до 9,5 единиц pH. Данные показатели находятся на уровне фоновых (9,4 ед.) значений и соответствуют природному уровню pH почв этого района.

Содержание SO_4^{2-} на станциях отбора изменялось в пределах: от 36,7 мг/кг до 236 мг/кг (K_c от 0,87 до 24,). Наибольшие концентрации обнаруживаются в 1,5 км зоне АГПЗ (рисунок). На остальной территории наблюдаются концентрации сульфат-иона, соответствующие фону или ниже значений последнего. Зоны повышенных содержаний сульфат-иона в 1,5 км зоне АГПЗ связаны с особенностями эксплуатации.

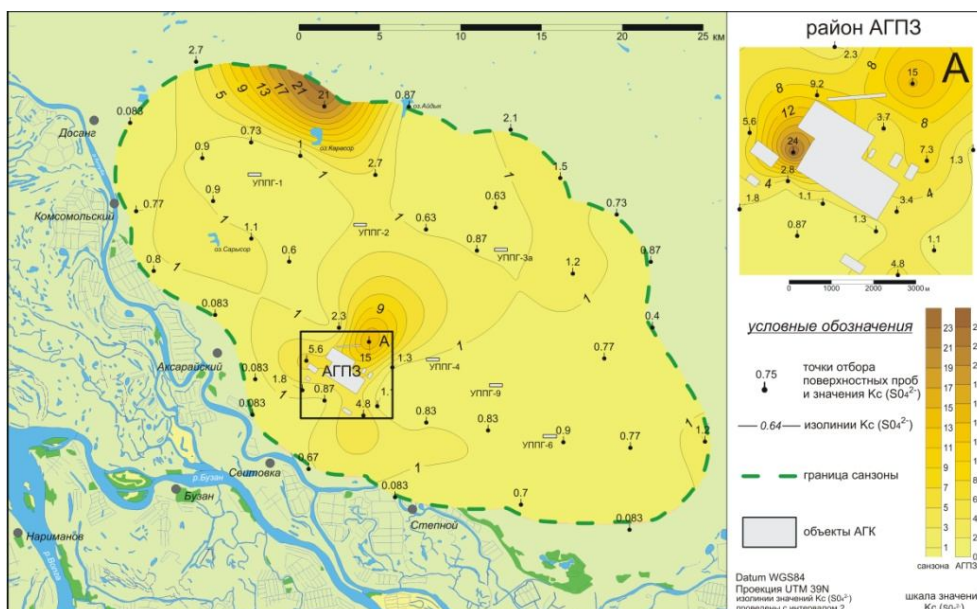


Рис. Схема распределения сульфат - иона в поверхностном горизонте почв (K_c)

В целом уровень загрязнения почв тяжёлыми металлами (ТМ) на территории АГК с 2010-2017 гг. изменился мало, что связано с технологическими усовершенствованиями, мероприятиями по охране окружающей среды [3].

Проведенные исследования показали, что валовое содержание кадмия (Cd) на всех исследованных площадках - менее 1,0 мг/кг, что свидетельствует о малом участии элемента в промышленном загрязнении. Содержание свинца (Pb) оставалось на уровне фоновых значений. Валовое содержание меди в отобранных пробах не превышало ОДК. ОДК цинка для почв составляет 55 мг/кг, его концентрации в анализируемых пробах были ниже предела обнаружения (25,0 мг/кг) и не превышали ПДК. Содержание никеля изменялись от 2,66 до 10,88 мг/кг сухой массы и не превышали ОДК (20,0 мг/кг). ПДК ртути для почв составляет 2,1 мг/кг. Содержание ртути в анализируемых пробах было значительно ниже (0,001- 0,008 мг/кг).

Таблица 1

Среднегодовые результаты спектрального анализа почвенных образцов района
АГПЗ в сравнении с фоном (весенний отбор)

Год отбора	Элемент, мг/кг сухого вещества												
	Cd	Cd – Kc	Pb	Pb – Kc	Cu	Cu Kc	Zn	Zn Kc	Ni	Ni Kc	Hg	Hg Kc	
ПДК*/ОДК	–/0,5		32/32		–/33		–/55		–/20		2,1		
2010	АГПЗ	0,05	1,0	1,64	2,1	2,14	0,9	7,15	0,9	4,86	0,7	0,001	0,5
	фон	0,05		0,80		2,30		8,28		6,60		0,002	
2011	АГПЗ	0,25	1,5	4,06	2,1	3,51	0,8	12,8	0,9	5,88	0,8	0,005	0,8
	фон	0,17		1,95		4,17		15,0		7,54		0,006	
2012	АГПЗ	0,25	1,0	2,50	1,0	2,50	0,9	25,00	1,0	5,00	1,0	0,005	0,6
	фон	0,25		2,58		2,72		25,00		5,21		0,008	
2013	АГПЗ	0,25	1,0	3,10	0,7	4,37	0,8	25,00	1,0	5,84	1,0	0,003	0,6
	фон	0,25		4,69		5,28		25,00		5,84		0,005	
2014	АГПЗ	0,50	2,0	2,90	0,8	3,12	0,9	25,00	1,0	5,04	0,9	0,005	1,0
	фон	0,25		3,58		3,38		25,00		5,40		0,005	
2015	АГПЗ	0,10	1,0	2,70	0,6	2,50	1,0	25,00	1,0	2,66	0,6	0,003	0,6
	фон	0,10		4,32		2,50		25,00		4,13		0,005	
2016	АГПЗ	0,10	1,0	2,50	1,0	2,50	1,0	25,00	1,0	10,8 8	0,7	0,001	0,5
	фон	0,10		2,50		2,50		25,00		14,5 7		0,002	
2017	АГПЗ	0,10	1,0	2,50	1,0	2,50	1,0	25,00	1,0	8,21	0,8	0,001	0,2
	фон	0,10		2,50		2,50		25,00		10,1 4		0,005	
С Min (АГПЗ)		0,05		1,64		2,14		7,15		2,66		0,001	
С Max (АГПЗ)		0,50		4,06		4,37		25,00		10,88		0,008	
С _{сп.} (АГПЗ)		0,20		2,74		2,89		21,24		6,05		0,003	

Примечания: *ПДК/ОДК – предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве.

Рассчитанные нами коэффициенты концентрации (K_c) характеризуют содержание ТМ в почвах АГК как минимальное, ($K_c > 1,0$) и сравнимое с фоновыми территориями, не испытывающими антропогенного воздействия.

Ранжированные ряды коэффициентов концентрации тяжелых металлов на территории АГК показали, что преобладающим загрязнителем почв в 2010–2011 годах был свинец, а с 2012 по 2017 – кадмий, что характерно и для фоновых территорий. Во всех рядах на последнем месте – ртуть, концентрации которой минимальны (табл. 2).

Таблица 2

Структура суммарного накопления в почвах микроэлементов, Z_c
и результаты качества семян на тест-объект, %

№ п/п	Z_c	Ранжированный ряд	Всхожесть, %
2010	1,1	Pb 2,1 Cd 1,0 Cu 0,9 Zn 0,9 Ni 0,7 Hg 0,5	97,9
2011	1,9	Pb 2,1 Cd 1,5 Zn 0,9 Cu 0,8 Ni 0,8 Hg 0,8	95,1
2012	0,5	Cd 1,0 Pb 1,0 Zn 1,0 Ni 1,0 Cu 0,9 Hg 0,6	87,3
2013	0,1	Cd 1,0 Zn 1,0 Ni 1,0 Cu 0,8 Pb 0,7 Hg 0,6	95,7
2014	1,6	Cd 2,0 Zn 1,0 Hg 1,0 Cu 0,9 Ni 0,9 Pb 0,8	94,8
2015	0	Cd 1,0 Cu 1,0 Zn 1,0 Pb 0,6 Ni 0,6 Hg 0,6	93,5
2016	0,2	Cd 1,0 Pb 1,0 Cu 1,0 Zn 1,0 Ni 0,7 Hg 0,5	92,2
2017	0	Cd 1,0 Pb 1,0 Cu 1,0 Zn 1,0 Ni 0,8 Hg 0,5	97,2

На основе коэффициентов концентрации был рассчитан суммарный показатель загрязнения Z_c , который отражает общий вклад ТМ в загрязнение почв. Согласно оценочной шкале уровней химического загрязнения почв и грунтов тяжелыми металлами и мышьяком по суммарному показателю загрязнения (Z_c - менее 16) категория загрязнения почв территории АГК - «допустимая» («умеренно опасная» - 16-32; «опасная» - 32-128; «чрезвычайно опасная» - более

128). В почвах техногенных зон ряды накопления металлов изменяются. Согласно K_c , в 2010 году ряд накопления выглядел так: Pb 2,1 Cd 1,0 Cu 0,9 Zn 0,9 Ni 0,7 Hg 0,5. А в 2017 году: Cd 1,0 Pb 1,0 Cu 1,0 Zn 1,0 Ni 0,8 Hg 0,5.

Для определения биологической продуктивности почв использован показатель качества - всхожесть. Показатель всхожести семян характеризует фитотоксичность почв, что отвечает критериям оценки экологической обстановки территорий. Всхожесть семян определена у семян мелкодерновинного злака - неравноцветника кровельного, который характеризуется высокой константностью (встречаемостью) в весеннем аспекте растительного покрова территории АГК (до 100%), таблица 2. Показатели всхожести позволяют дать оценку устойчивости генеративной способности растений, произрастающих в районе АГПЗ и на фоновой территории (станция Досанг). Всхожесть характеризует способность образовывать нормально развитые проростки при оптимальных условиях проращивания. Результаты определения всхожести семян *Anisanta tectorum* с 2010 по 2017 годы характеризует высокую стабильность природных фитоценозов в районе расположения АГПЗ.

Таким образом, оценка экологического состояния почвенного покрова техногенной территории Волго-уральских песков в границах Астраханской области на техногенной территории эксплуатации газоконденсатного месторождения общей площадью более 600 км² показала неравномерное распределение сульфат - иона и минимальное валовое содержание таких тяжелых металлов, как кадмий, свинец, медь, цинк, никель и ртуть.

В ходе проведения количественного химического анализа получены результаты относительной не загрязнённости почв промышленной зоны тяжелыми металлами, несмотря на большую техногенную нагрузку. Объясняется это коротким сроком использования земель (около 30 лет) и особенностями гранулометрического состава почв. Их высокая опесчаненность и переслоенность приводит к вымыванию ионов металлов в грунтовые воды и не способствует кумуляции ТМ.

Список литературы

1. Андрианов В.А. Геоэкологические аспекты деятельности Астраханского газового комплекса / В.А. Андрианов: Монография. Астрахань: Издатель: АГМА, 2002. - 245 с.
2. Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. [Текст] М.Э. Брицке / М.: Химия, 1982. - С. 172 – 176.
3. Булаткина, Е. Г. Микроэлементы в почвенно-растительном покрове Астраханского и Алексеевского газоконденсатных месторождений [Текст] / Е.Г. Булаткина, И.В. Лапаева, В.А. Андрианов // Естественные науки, 2013. - № 1. (42) С. 14 – 18.
4. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. 2010. №1. - С. 1276-1280.
5. Лапаева И.В., Формирование устойчивых социоприродных ландшафтов на примере Астраханского газового комплекса [Текст] / И.В. Лапаева, Б.Е. Осипов // Газовая промышленность, М.: 2005, - №4. С. 33 - 36.
6. Лапаева И. В. Содержание тяжелых металлов в листьях полыни песчаной в условиях техногенной нагрузки Астраханского газового комплекса [Текст] / И.В. Лапаева / Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, М.: 2011. - № 6. С. 29-33.
7. Попова Л.Ф. Оценка загрязнения тяжелыми металлами типичных почв Архангельска [Текст] / Л.Ф. Попова // Фундаментальные исследования, М.: 2014. - №8 (часть 4). С. 849-853.
8. Сагет Ю.Е. Геохимия окружающей среды [Текст] / Ю.Е. Сагет, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. М.: Недра, 1990. – 335 с.

9. Loredo J., Ordonez A., Alvarez R. Environmental impact of toxic metals and metalloids from the Munon Cimero mercury- mining area (Asturias, Spain) // J. of Hazardous Materials. V. A 136. pp. 455-467, 2006.
10. Kloke A. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden, Mitt // VDLUFA: Richwerte, № 2. pp. 9–11, 1980.
11. Sauerbeck D. Schadstoffeinträge in den Boden durch Industrie, Besiedlung, Verkehr und Landwirtschaft (anorganische Stoffe) // VDLUFA: Schriftenreihe, Kongressband. S.-H. 16. pp. 59–72, 1985.
12. Yang, D. Y., Chen Y. W., Gunn J. M., Belzile N. Selenium and mercury in organisms: interactions and mechanisms / и N. // Environmental Reviews, vol. 16, pp. 71 - 92, 2008.

References

1. Andrianov V.A. Geoekologicheskiye aspekty deyatel'nosti Astrakhanskogo gazovogo kompleksa [Geoecological Aspects of Astrakhan Gas Complex Activities]: *Monografiya*. Astrakhan': Izdatel': AGMA, 2002. - 245 p.
2. Britske M.E. Atomno-absorbtsionnyy spektrokhimicheskiy analiz [Atomic absorption spectrochemical analysis]: M.: *Khimiya*, 1982. - pp. 172 – 176.
3. Bulatkina E. G., Lapaeva I. V., Andrianov V. A. Mikroelementy v pochvenno-rastitel'nom pokrove Astrakhanskogo i Alekseevskogo gazokondensatnykh mestorozhdeniy [Microelements in the soil-vegetation cover of the Astrakhan and Alekseevsky gas condensate deposits]. *Estestvennyye nauki* [Natural Sciences], 2013 – № 1. (42) pp. 14 – 18.
4. Vodyanitskiy YU.N. Formuly otsenki summarnogo zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami i metalloidami [Formulas for estimating total soil contamination by heavy metals and metalloids]. *Pochvovedeniye*. 2010. №1. - pp. 1276-1280.
5. Lapayeva I.V., Osipov B.Y. Formirovaniye ustoychivyykh sotsioprirodnykh landshaftov na primere Astrakhanskogo gazovogo kompleksa [Formation of sustainable socio-natural landscapes by the example of the Astrakhan gas complex] *Gazovaya promyshlennost'*, M.: 2005, - №4. pp. 33 - 36.
6. Lapayeva I. V. Soderzhaniye tyazhelykh metallov v list'yakh polyni peschanoy v usloviyakh tekhnogennoy nagruzki Astrakhanskogo gazovogo kompleksa [The content of heavy metals in leaves of wormwood sand in conditions of technogenic load of the Astrakhan gas complex] *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, M.: 2011. - № 6. pp. 29-33.
7. Popova L.F. Otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami tipichnykh pochv Arkhangel'ska [Assessment of heavy metal contamination of typical soils in Arkhangelsk] *Fundamental'nyye issledovaniya*, M.: 2014. - №8 (chast' 4). pp. 849-853.
8. Cayet Y.Y., Revich B.A., Yanin Y.P. Geokhimiya okruzhayushchey sredy [Geochemistry of the environment] M.: Nedra, 1990. - 335 p.
9. Loredo J., Ordonez A., Alvarez R. Environmental impact of toxic metals and metalloids from the Munon Cimero mercury- mining area (Asturias, Spain) // J. of Hazardous Materials. V. A 136. pp. 455-467, 2006.
10. Kloke A. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden, Mitt // VDLUFA: Richwerte, № 2. pp. 9–11, 1980.
11. Sauerbeck D. Schadstoffeinträge in den Boden durch Industrie, Besiedlung, Verkehr und Landwirtschaft (anorganische Stoffe) // VDLUFA: Schriftenreihe, Kongressband. S.-H. 16. pp. 59–72, 1985.
12. Yang, D. Y., Chen Y. W., Gunn J. M., Belzile N. Selenium and mercury in organisms: interactions and mechanisms / и N. // Environmental Reviews, vol. 16, pp. 71 - 92, 2008.