

УДК 546.3:628.24(262.81)

## КОНЦЕНТРАЦИЯ ГУМУСА И НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КОЛЛЕКТОРОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ

Р. Р. Баширов, Ш. К. Салихов, М. А. Яхияев, А. З. Магомедалиев

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН

Исследовано содержание некоторых тяжелых металлов и гумуса в донных отложениях основных коллекторов равнинного Дагестана. Выявлена корреляция между содержанием гумуса и валовым содержанием изученных металлов.

The content of heavy metals and humus in the bottom sediments of the main collectors in the plain Daghestan has been studied. Correlation between humus content and total one of the studied metals has been displayed.

Ключевые слова: Северо-Западный Прикаспий; коллекторы; донные отложения; гумус; тяжелые металлы; концентрация.

Keywords: North-West Caspian Sea region; collector; sediments; humus; heavy metals; concentration.

Равнинная провинция Северо-Западного Прикаспия Дагестана, занимающая 45.9% от общей территории республики, играет важную роль в системе природопользования и охраны природы. Ее почвенный покров формируется под влиянием природных и антропогенных факторов: сухого полупустынного климата, близости Каспийского моря, большого объема взвешенных твердых частиц, приносимых водами рек Терека и Сулака, уровня залегания и степени минерализации грунтовых вод, характера использования угодий в сельском хозяйстве, уровня химизации и мелиорации. Характерной особенностью почвенного покрова региона является низкое плодородие, неудовлетворительные водно-физические свойства, значительная засоленность земель, подверженность ветровой эрозии [1].

Такое разнообразие почвенно-климатических условий оказывает значительное влияние на химический состав почв, в том числе на содержание тяжелых металлов. Проблема определения концентрации тяжелых металлов в компонентах экосистем, в том числе в почве, и миграции их в пищевой цепи является важной задачей с точки зрения охраны окружающей среды.

Природным источником поступления химических элементов в компоненты экосистем являются породы (магматические и осадочные) и породообразующие минералы. Многие минералы в виде высокодисперсных частиц включаются в качестве акцессорных микропримесей в массу горных пород. Антропогенным источником поступления тяжелых металлов в биоценозы может служить орошение сельхозугодий водами с повышенным их содержанием. Вторичное загрязнение происходит при поступлении больших количеств тяжелых металлов при постоянном внесении высоких доз органических, минеральных удобрений и пестицидов [2]. С гидрохимическим стоком часть удобрений попадает в бессточные водоемы, где накапливается в водах и донных отложениях. Это может явиться причиной накопления тяжелых металлов, увеличение содержания которых вызывает нарушение экологического равновесия и приводит к уменьшению продуктивности водоемов. Соединения тяжелых металлов сравнительно быстро распространяются по водным объектам. Частично они выпадают в осадок в виде карбонатов, сульфатов, частично адсорбируются на минеральных и органических осадках.

Несмотря на значительное влияние донных отложений коллекторов Северо-Западного Прикаспия на состав вод Каспия, ихтиофауну, фитопланктон моря, флору и фауну побережья, сведений по их химическому составу в доступной нам литературе мы не обнаружили. Для оценки допустимого антропогенного воздействия в речных экосистемах необходимо знать не только концентрации и формы нахождения токсичных элементов в водной толще, но и содержание их в донных отложениях водоемов. Донные отложения характеризуют состояние и качество вод, предоставляют информацию о техногенных загрязнителях. Тяжелые металлы оказывают наибольшее влияние на качество природных вод, относятся к консервативным загрязняющим веществам, которые не разлагаются в природных водах, а только меняют формы своего состояния.

Целью данной работы является исследование особенностей распределения и накопления тяжелых металлов (Cr, Ni, Pb, Rb, Sr, Zr) в донных отложениях основных коллекторов и сравнение с фоновым содержанием их в почвах, наиболее типичных для исследуемого района.

Для осуществления указанной цели были поставлены следующие задачи: 1) определить уровень содержания тяжелых металлов и их пространственное распределение в донных отложениях коллекторов; 2) выявить наиболее загрязненные участки коллекторов.

В условиях Дагестана подобные исследования не проводились. Выбор тяжелых металлов – Cr, Ni, Pb, Rb, Sr, Zr был обусловлен тем, что эти элементы являются одними из самых токсичных и их содержание необходимо в первую очередь контролировать в окружающей среде.

#### Объекты и методы исследований

Исследования по химическому составу донных отложений коллекторов нами проводились на территории Терско-Кумской полупустыни и Терско-Сулакской дельтовой равнины. Образцы донных отложений отбирались в течение пяти лет (2005–2009) в летний период. Отбор проб в начале и конце коллекторов производился в 5-кратной повторности. Нами были отобраны образцы донных отложений коллекторов на глубине 0–30 и 30–60 см от поверхности зеркала воды в зависимости от глубины и крутизны откоса коллекторов, в которых определяли содержание тяжелых металлов (Cr, Ni, Pb, Rb, Sr, Zr) и гумуса. Определение содержания гумуса проводилось по Тюрину. Определение валовых форм тяжелых металлов в образцах донных отложений и сравниваемых почв проведено в лаборатории биогеохимии ПИБР ДНЦ РАН на ААС ЭТА «Hitachi 170-70» [3]. Полученные результаты статистически обработаны в программе Microsoft Office Excel.

#### Обсуждение результатов

На исследуемых территориях сосредоточен основной фонд пахотных орошаемых земель и более 60% природных кормовых угодий для осенне-зимнего содержания овец горных районов республики. Для рационального использования водных ресурсов в сельском хозяйстве (сенокосы, агроценозы, пастбища) на территории Северо-Западного Прикаспия создано несколько оросительных систем, построены крупные гидротехнические сооружения, оросительные и коллекторно-дренажные сети каналов. Донные отложения коллекторов представлены в основном пойменными аллювиально-слоистыми, тонкодисперсными иловатыми фракциями. В верхней части коллекторов (начало) донные отложения характеризуются относительно крупной фракцией осадков, а в районе водосброса (у взморья, берег) твердые осадки сложены пылевато-иловатой смесью. Почвы грунтовых отложений относятся к классу субкавальных (подводных) почв. Исследованные нами донные отложения коллекторов относятся к подклассу молодых аллювиальных речных. Эта особенность генезиса оказала определенное влияние также на химический состав и содержание гумуса.

Гумус является биогеохимическим аккумулятором химических компонентов в почве. Уровень содержания гумуса также служит показателем плодородия и качественного состояния почвы. Считается, что изменение гумусового состава почвы и почвенного поглощенного комплекса (ППК) может стать показателем неблагоприятного воздействия тяжелых металлов на почву, так как от гумуса и ППК зависит сохранность плодородия и самоочищающей способности почвы. Поэтому прежде всего рассмотрим содержание гумуса в донных отложениях в сравнении с показателями его в пахотных почвах сельскохозяйственного назначения.

Средние показатели гумуса в донных отложениях коллекторов, отобранных в районе водосброса, сравнительно высокие – 1.7% (колебание 1.3–2.1%), а в донных отложениях, отобранных у начала коллекторов, величина гумуса немного ниже – 1.3% (колебание 0.9–1.7%) (см. таблицу).

**Концентрация гумуса (в %) и тяжелых металлов (в мг/кг) в донных отложениях коллекторов Северо-Западного Прикаспия**

Коллекторы	Гумус	n	Cr				Ni			
			<i>M±m</i>	95% ДИ	S	V, %	<i>M±m</i>	95% ДИ	S	V, %
Суллу-Чубутль: начало берег	1.2	16	114±2.1	109.9–118.1	8.3	7.3	51±1.1	48.8–53.2	4.4	8.6
	1.7	16	125±1.6***	121.9–128.1	6.4	5.1	62±1.7***	58.8–65.2	6.6	10.7
Центральный: начало берег	1.3	12	57±1.8	53.4–60.6	6.3	11.1	55±2.1	51.0–59.0	7.1	12.9
	1.9	9	63±2.0*	59.2–66.8	5.9	9.4	71±1.7***	67.6–74.4	5.2	7.3

Чилим- ный: начало берег	1.3 2.1	7 10	134±3.1 164±2.4***	127.9–140.1 159.3–168.7	8.2 7.6	6.1 4.6	55±3.6 62±2.1*	47.9–62.1 58.0–66.0	9.6 6.5	17.5 10.5
Кизляр- Каспий: начало берег	1.1 1.8	13 12	75±1,9 132±2.2***	71.3–78.7 127.8–136.2	6.8 7.5	9.0 5.7	45±1.3 67±1.4***	42.6–47.4 64.2–69.8	4.6 4.9	10.2 7.3
Львов- ский: начало берег	0.9 1.6	11 9	122±2.8 139±3.5**	116.5–127.5 132.1–145.9	9.3 10.6	7.6 7.6	78±2.7 121±3.5** *	72.8–83.2 115.4–126.6	8.9 10. 4	11.4 8.6
Гл. Юзбаш- ский: начало берег	1.7 2.1	8 7	176±4.0 189±4.5*	168.2–183.8 180.1–197.9	11.2 12.0	6.4 6.4	81±3.5 98±4.0**	74.2–87.8 90.2–105.8	9.9 10. 6	12.2 10.8
Юзбаш- Сулак: начало берег	1.0 1.3	5 9	43±3.4 64±2.3***	38.6–47.4 59.5–68.5	7.7 6.9	17.9 10.8	47±3.0 67±2.2***	41.1–52.9 62.8–71.2	6.8 6.5	14.5 9.7
Луговая почва	2.5	6	225±5.1	220.9–229.1	12.4	5.5	188±6.8	174.7–201.3	16. 6	8.8
Светло- каштано- вая почва	1.4	6	100±3.3	97.4–102.6	8.1	8.1	58±2.6	52.9–63.1	6.3	10.9
ПДК (для почв) [3]			90				85			
Кларк по А.П. Вино- градову (для почв) [4]			200				40			

Продолжение таблицы

Коллекто- ры	Гу- мус	n	Pb				Rb			
			M±m	95% ДИ	S	V, %	M±m	95% ДИ	S	V, %
Суллу- Чубуль: начало берег	1.2	16	20±0.8	18.4–21.6	3.2	16.0	100±4.1	91.9–108.1	14.6	6.2
	1.7	16	23±0.9*	21.2–24.8	3.6	15.7	110±3.2 <sup>-</sup>	103.8–116.2	17.7	6.8
Централь- ный: начало берег	1.3	12	11±1.3	8.5–13.5	4.4	40.0	87±3.2	80.8–93.2	15.2	6.9
	1.9	9	13±1.3 <sup>-</sup>	10.5–15.5	3.8	29.2	92±4.3 <sup>-</sup>	83.6–100.4	15.8	6.9
Чилим- ный: начало берег	1.3	7	18±2.3	13.4–22.6	6.2	34.4	102±6.8	88.8–115.2	17.8	7.3
	2.1	10	23±1.6 <sup>-</sup>	19.8–26.2	5.1	22.2	78±5.2*	67.8–88.2	19.3	7.3
Кизляр- Каспий: начало берег	1.1	13	36±1.2	33.7–38.3	4.2	11.7	83±2.6	78.0–83.0	16.4	8.1
	1.8	12	24±1.5***	21.2–26.8	5.0	20.8	90±3.0 <sup>-</sup>	84.1–95.9	18.1	6.9
Львов- ский: начало берег	0.9	11	17±1.6	13.8–20.2	5.4	31.8	90±3.4	83.3–90.7	18.9	7.2
	1.6	9	18±1.7 <sup>-</sup>	14.3–21.7	5.6	31.1	99±4.5 <sup>-</sup>	90.1–107.9	17.1	6.7
Гл. Юзбаш- ский: начало берег	1.7	8	11±2.0	7.1–14.9	5.7	51.8	133±5.7	121.8–144.2	17.5	8.0
	2.1	7	14±2.0 <sup>-</sup>	10.1–17.9	5.3	37.9	156±7.0*	142.2–169.7	18.3	7.5
Юзбаш- Сулак: начало берег	1.0	5	22±2.8	16.5–27.5	6.3	28.6	90±7.2	75.9–104.1	16.8	6.5
	1.3	9	19±1.6 <sup>-</sup>	15.9–22.1	4.8	25.3	73±3.7 <sup>-</sup>	65.8–80.2	15.1	5.1
Луговая почва	2.5	6	28±2.7	22.6–33.4	6.7	23.9	172±7.5	157.4–186.6	13.8	6.5

Светло-каштановая почва	1.4	6	23±2.1	18.8–27.2	5.2	22.6	83±4.7	73.7–92.3	17.4	6.5
ПДК			32				–			
Кларк по А.П. Виноградову			10				60			

Продолжение таблицы

Коллекторы	Гумус	n	Sr				Zr			
			M±m	95% ДИ	S	V, %	M±m	95% ДИ	S	V, %
Суллу-Чубутль: начало берег	1.2	16	283±7.2	265.9–294.1	28.8	10.2	237±3.7	229.8–244.2	14.6	6.2
	1.7	16	303±6.7*	289.9–316.1	26.7	8.8	261±4.4***	252.3–269.7	17.7	6.8
Центральный: начало берег	1.3	12	288±8.4	271.6–304.4	29.0	10.1	220±4.4	211.4–228.6	15.2	6.9
	1.9	9	300±10.7	279.1–320.9	32.1	10.7	228±5.3	217.7–238.3	15.8	6.9
Чилимный: начало берег	1.3	7	327±12.5	302.6–351.4	33.0	10.1	244±6.7	230.8–257.2	17.8	7.3
	2.1	10	348±9.5	329.4–366.6	30.0	8.6	264±6.1*	252.1–275.9	19.3	7.3
Кизляр-Каспий: начало берег	1.1	13	268±7.5	253.3–282.7	27.0	10.1	203±4.6	194.1–211.9	16.4	8.1
	1.8	12	254±7.2	239.9–268.1	24.9	9.8	262±5.2***	251.7–272.3	18.1	6.9
Львовский: начало берег	0.9	11	252±8.5	235.3–268.7	28.3	11.2	263±5.7	251.8–274.1	18.9	7.2
	1.6	9	323±10.0***	303.5–342.5	29.9	9.3	254±5.7	242.8–265.2	17.1	6.7
Гл. Юзбашский: начало берег	1.7	8	236±10.3	215.8–256.2	29.2	12.4	220±6.2	204.7–235.3	17.5	8.0
	2.1	7	252±11.4	229.7–274.3	30.1	11.9	245±6.9*	231.5–258.5	18.3	7.5
Юзбаш-Сулак: начало берег	1.0	5	240±13.0	214.5–265.5	29.1	12.1	258±7.5	243.3–272.7	16.8	6.5
	1.3	9	292±10.1**	272.3–311.7	30.2	10.3	294±5.0**	284.1–303.9	15.1	5.1
Луговая почва	2.5	6	427±13.2	401.1–452.9	32.4	7.6	212±5.6	200.9–223.1	13.8	6.5
Светло-каштановая почва	1.4	6	220±11.4	197.7–242.3	27.9	12.7	268±7.1	254.1–281.9	17.4	6.5
ПДК			–				–			
Кларк по А.П. Виноградову			300				300			

Примечание: \* –  $P \leq 0.05$ ; \*\* –  $P \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0.001$ . Проверк означает отсутствие достоверного различия. ДИ – доверительный интервал для средней. S – стандартное отклонение. V% – коэффициент вариации.

Концентрация Cr, Sr и Zr в донных отложениях в начале и конце коллектора Сулла-Чубутль не превышала кларк по Виноградову, а по Ni, Pb и Rb в начале коллектора – превышение концентрации в 1.5–2 раза, в конце у этих элементов наблюдалось повышение концентрации в 1.7–2.3 раза. В донных отложениях коллектора Центральный – в начале концентрация Ni и Rb в 1.5 раза выше, у берега – в 1.6 раза и незначительное превышение Pb. Содержание Cr, Zr и Sr ниже. В донных отложениях коллектора Чилимный – Cr и Zr не превышает в начале и конце, а концентрация Ni, Pb, Rb и Sr превышает в 1.5–2 раза как в начале, так и в конце коллектора (район водосброса). В донных отложениях коллектора Кизляр-Каспий – в начале и конце превышение концентрации по Ni, Pb, Rb в 1.2–1.5 и 2–3.5 раза соответственно, Cr, Sr и Zr – ниже кларка. В донных отложениях коллектора Львовский

– Ni, Pb и Rb превышает в начале в 0.8–1.2 раза, в конце в 1.5–3 раза, Cr, Sr, Zr – ниже. В донных отложениях коллектора Главный Юзбашский – в начале Ni и Rb превышает в 2.0–2.3 раза, в конце в 2.2–2.8 раза, Cr, Sr и Zr – ниже. В донных отложениях коллектора Юзбаш-Сулак – в начале Ni, Pb и Rb превышает в 0.3–2.2 раза, в конце коллектора в 0.4–0.9 раза, концентрация Cr, Sr и Zr ниже кларка по Виноградову (см. таблицу). Таким образом, из исследованных нами тяжелых металлов в донных отложениях Ni, Pb и Rb превышают допустимую концентрацию в 1.5–3.5 раза.

Средняя взвешенная содержания (мг/кг): Cr – 102.58 в начале коллектора и 124.18 в конце коллектора; Ni – 58.15 и 75.46; Pb – 19.88 и 19.92; Rb – 95.25 и 98.44; Sr – 273.85 и 298; Zr – 232.25 и 259.15 соответственно.

Результаты исследований указывают на различие варьирования концентрации исследованных тяжелых металлов в донных отложениях коллекторов и основных типах почв Северо-Западного Прикаспия. Коэффициент варьирования считается слабым, если не превышает 10%, средним, когда коэффициент вариации составляет 11–25%, и значительным, если величина больше 25% [6].

По хрому наблюдалось слабое варьирование концентрации в донных отложениях и основных типах почв, за исключением коллекторов Центральный (начало) и Юзбаш-Сулак (начало), в которых зафиксирован средний уровень варьирования. Для никеля уровни варьирования имели более широкий интервал – от слабого ( $V = 7.3\%$  – в начале коллекторов Центральный и Кизляр-Каспий) до среднего ( $V = 17.5\%$  – в начале коллектора Чилимный). Концентрация свинца во всех коллекторах имела значительный уровень варьирования, достигающий значения  $V = 51.8\%$ , за исключением коллекторов Суллу-Чубутли, Кизляр-Каспий, где наблюдалось среднее варьирование. Коэффициент вариации концентрации рубидия во всех коллекторах и основных типах почв региона относился к среднему. Стронций по концентрации его в коллекторах и основных типах почв относился к средне- и слабоварьирующему элементу. Характерной особенностью циркония являлось относительно слабое варьирование концентрации ( $V = 5.1–8.1\%$ ).

Доверительные интервалы для генеральных средних данных нормальных распределений концентраций рассмотренных тяжелых металлов при  $P = 95\%$  находились в узком интервале в большинстве коллекторов по Cr, Ni, Zr. Для остальных элементов (Pb, Rb, Sr) в большинстве коллекторов наблюдался достаточно широкий доверительный интервал.

Между показателями гумуса и валовым содержанием рассматриваемых элементов прослеживается положительная корреляция. Так, корреляционный ряд по элементам выглядит следующим образом:  $Cr > Ni > Rb > Sr > Pb > Zr (+0.24)$ . Корреляция средней степени обнаружена у Cr (0.58), Ni (0.43), Rb (0.42), Sr (0.29), а по Zr достоверной корреляции не обнаружено (0.05).

В донных отложениях содержание валовых форм хрома выше ПДК и ниже кларка по Виноградову, при средней концентрации элемента 103 мг/кг в начале коллектора и 125 мг/кг в конце коллектора. Никель содержится в пределах от 47 до 121 мг/кг при среднем содержании в начале коллектора 58.9 и 78.3 мг/кг в конце коллектора, что в среднем выше кларка по Виноградову, но в 1.2 раза ниже ПДК. Среднее содержание валовых форм свинца выше в 1.9 раза в сравнении с кларком по Виноградову и ниже в 1.7 раза в сравнении с ПДК. Рубидия в донных отложениях содержится в 1.65 раз выше кларка, а содержание валовых форм стронция и циркония не превышает кларк по Виноградову. Полученные данные мы сравнили со средними показателями концентрации тяжелых металлов в наиболее характерных почвах изучаемого региона луговыми и светло-каштановыми. В луговых почвах содержание Cr, Ni, Pb, Rb и Sr выше, чем в донных отложениях коллекторов, исключение составляет Zr. В светло-каштановых почвах Северо-Западного Прикаспия содержание исследованных элементов ниже, чем в донных отложениях коллекторов, за исключением Pb и Zr, содержание которых незначительно выше.

Сравнение данных наших исследований по содержанию тяжелых металлов в донных отложениях коллекторов с результатами работ по донным отложениям р. Волги [7] показывает, что содержание Ni в отложениях коллекторов исследованной территории выше в 1.7–3.3 раза; по Pb данные выше почти в 1.5 раза в одном случае или имеют одинаковое значение в другом. По нашему мнению, повышенное содержание тяжелых металлов в донных отложениях коллекторно-дренажной системы Северо-Западного Прикаспия объясняется спецификой содержания тяжелых металлов в самой воде коллекторов, обусловленной повышенным содержанием их в речных водах, что связано с особенностями формирования дагестанских рек

[8, 9] и естественным содержанием в почвенно-грунтовых водах исследуемой территории региона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Салманов А.Б., Керимханов С.У. Основные принципы построения систематики и классификации почв Дагестана. Классификация и диагностика почв Дагестана. Махачкала: Даг. ФАН СССР, 1982. С. 6–19.
2. Потатауева Ю.А., Сидоренкова Н.К., Прищеп Е.Г. Агроэкологическое значение примесей тяжелых металлов и токсичных элементов в удобрениях // Агрохимия. 2002. № 1. С. 85–95.
3. Крысанова Т.А., Котова Д.Л., Бабенко Н.К. и др. Атомно-абсорбционная спектроскопия. Воронеж, 2005. 31 с.
4. Башкин В.Н. Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004. 584 с
5. Краткий справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.Е. Мирошников, В.Г. Поваренных, В.Г. Прохоров. М.: Недра, 1997. 183 с.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
7. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Савенко А.В. Высшая водная растительность и накопительные процессы в дельте р. Волги // Аридные экосистемы. 2009. Т. 15. № 3 (39). С. 34–45.
8. Тяжелые металлы в речных водах Дагестана / А.М. Бутаев, М.А. Гуруев, У.Г. Магомедбеков, Н.Ф. Осипова, Х.М. Магомедрасулова, А.Д. Магомедова, А.А. Мухучев // Вестн. Дагест. науч. центра. 2006. № 26. С. 43–50.
9. Яхияев М.А., Салихов Ш.К., Шайхалова Ж.О. и др. Содержание микроэлементов и уровень загрязненности донных отложений побережья Западного Прикаспия // Юг России: экология, развитие. 2007. № 2. С. 95–98.

Поступила в редакцию 21.04.2010 г.  
Принята к печати 26.06.2012 г.