

УДК 502.521(574.31)

PhD	Ж.О. Озгелдинова <sup>1</sup>
Доктор геогр. наук	К.М. Джаналеева <sup>1</sup>
PhD	Ж.Т. Мукаев <sup>2</sup>
	Г.Т. Оспан <sup>1</sup>

## СОДЕРЖАНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ БАССЕЙНА РЕКИ КЕНГИР

**Ключевые слова:** бассейн реки, геосистема, антропогенное воздействие, техногенез

*Приведена характеристика современного геоэкологического состояния геосистем на участках фоновых ключевых и расположенных в зоне сильного техногенного загрязнения. Установлено существенное увеличение концентраций Pb и Cu в почве по мере приближения к источнику выбросов.*

**Введение.** Река Кенгир (Кара-Кенгир) берет начало на южных и юго-восточных склонах Улытауских гор вблизи оз. Баракколь, впадает в р. Сарысу, в 384 км от ее устья, на северо-западном конце Голодной Степи (Бетпак-Дала). Длина 295 км, площадь водосбора 18400 км<sup>2</sup>, средняя высота водосбора 480 м, средневзвешенный уклон 1,07 ‰. Основными притоками Кенгира являются реки Сары-Кенгир, Жыланды, Жезды, а также еще 115 притоков общей протяженностью 840 км. Питание рек бассейна снеговое, с долей грунтового. Минерализация вод рек, как правило, возрастает с севера на юг, от весны к лету и от осени к зиме. В полупустыне весной воды гидрокарбонатно-кальциевого класса (пресные), летом они превращаются в хлоридно-натриевые (солончатые и даже горько-соленые). Рельеф северной и северо-восточной частей бассейна крупнохолмистый, высота холмов до 200 м. В среднем и нижнем течении это – мелкосопочник, переходящий в равнину. В нижнем течении бассейн расчленен овражно-балочной сетью. В верховьях почвы светло-каштановые солонцеватые, суглинистые, в низовьях бурые. В растительном покрове сочетаются злаково-пыльняные, пыльня-

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан;

<sup>2</sup> Государственный университет им. Шакарима, г. Семей, Казахстан

ные и полынно-солянковые комплексы [1, 3, 7]. В 60 км от устья на реке расположено Кенгирское водохранилище, которое является основным источником хозяйственного и технического водоснабжения Жезказгана и его промышленного комплекса. Негативное воздействие на него оказывают Жезказганский ТЭЦ, используя водохранилище в качестве пруда охладителя, стоки обработанной воды Жезказганской обогатительной фабрики № 1, 2. В водохранилище также поступают воды р. Кара-Кенгир, загрязненные стоками животноводческих ферм и объектов сельского хозяйства.

Главной специализацией населенных пунктов бассейна р. Кенгир является цветная металлургия, представленная горно-обогатительным комбинатом, медеплавильным заводом, обогатительными фабриками, литейно-механическим заводом, шахтами с разработкой открытого типа. Таковыми предприятиями региона являются ПО «Жезказганцветмет», ТОО «Корпорация Казахмыс» и РГП «Жезказганредмет», сточные воды которых поступают непосредственно в Сарысу и являются основными источниками загрязнения.

Комплексное исследование геосистем бассейна обусловлено все возрастающим хозяйственным воздействием. Проведенные авторами в 2012...2013 гг. физико-географические полевые исследования позволяют оценить экологическое состояние геосистем бассейна р. Кенгир.

**Методика.** На основе обобщения картографического материала и стандартного инструментария Arc Map 10.1 составлена карта геосистем бассейна р. Кенгир масштаба 1:500000 (рис. 1).

Пространственно-временная изменчивость геосистем исследована на примере участков фоновых ключевых и расположенных в зоне сильного антропогенного воздействия (рис. 2, табл. 1).

Почвенные исследования проводились в 2013...2015 гг. согласно стандартным методическим рекомендациям [2, 4]. Анализ содержания отдельных ингредиентов загрязняющих веществ выполнены в сертифицированной лаборатории «КАЗГИДРОМЕТ» г. Астаны методом атомно-абсорбционной спектроскопии (МГА-915). Полученные экспериментальные данные обработаны методами вариационной статистики по Н.А. Плохинскому с использованием программы Microsoft Excel [5]. При обработке данных применялись следующие статистические показатели:  $\bar{X} \pm S\bar{X}$  – среднее  $\pm$  ошибка среднего;  $\text{lim}$  – размах лимитов;  $p$  – разность лимитов;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $C_v$  – коэффициент вариации, %;  $r$  – коэффициент корреляции;  $n$  – число проб.

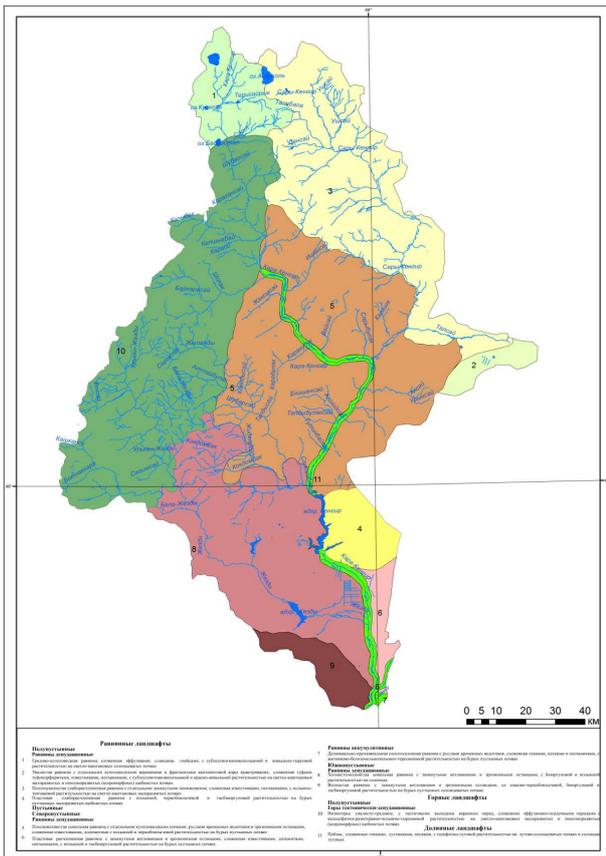


Рис. 1. Карта геосистем бассейна р. Кенгир.

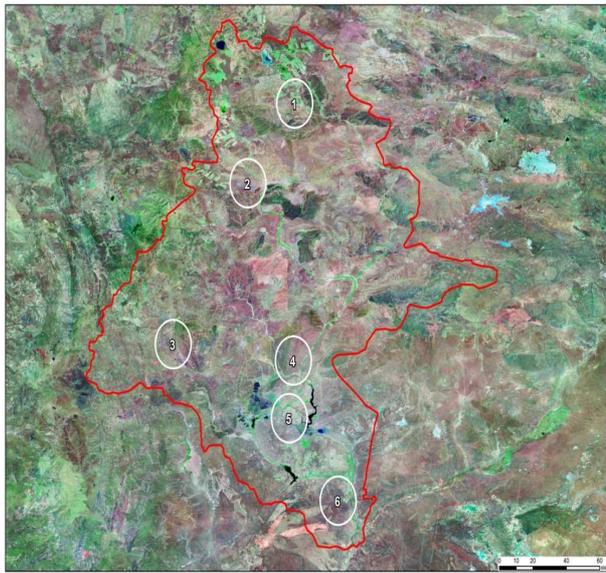


Рис. 2. Ключевые участки.

Таблица 1

Ключевые участки физико-географических исследований бассейна р. Кенгир

№ по карте (рис. 2)	Участок	Координаты	Местонахождение	Дата, время
1	Егиндинский	49°03'22" с.ш., 67°45'03" в.д.	5 км от села к югу; правый берег р. Сары-Кенгир	16.07.2013 11:10
2	Бозтумсыкский	48°45'31" с.ш., 67°30'49" в.д.	3 км от села к востоку; ле- вый берег р. Кара-Кенгир	11.07.2013 13:35
3	Жездинский	48°3'53" с.ш., 67°2'29" в.д.	0,2 км от поселка к западу; правый берег р. Жезды	02.07.2013 15:00
4	Сатпаевский	47°53'3" с.ш., 67°34'37" в.д.	12 км от города к югу; ле- вый берег р. Кара-Кенгир	03.07.2013 12:15
5	Жезказганский	47°48'12" с.ш., 67°43'13" в.д.	0,2 км от города к востоку; Кенгирское водохранилище	06.07.2013 16:05
6	Сургитинский	47°27'32" с.ш., 67°54'10" в.д.	25 км от села к западу; ле- вый берег р. Кара-Кенгир	03.07.2013 15:20

Влияние почвенного покрова на сток и другие элементы водного баланса осуществляется через процессы инфильтрации и испарения. Спецификой почвенного покрова региона можно считать широкое распространение полугидроморфных и гидроморфных почв. Их формирование вызвано перераспределением атмосферных осадков в условиях расчлененного мелкосопочного рельефа и близким залеганием минерализованных грунтовых вод в понижениях дневной поверхности. К специфике местных почв можно отнести также их частую солонцеватость и комплексность.

Комплексность почв выражается в частой смене почв разных типов и подтипов: на расстоянии нескольких метров можно наблюдать светло каштановые солонцеватые почвы и солонцы. На исследуемой территории развиваются солонцеватые почвы и типичные солонцы, приуроченные к выходам соленосных (чаще всего неогеновых) глин. Они встречаются обычно в комплексах с зональными почвами. Соленакпление и соответственно слабое выщелачивание почв обусловлены резко континентальным климатом территории бассейна. Комплексность почвенного покрова и широкое распространение солонцов создают большие трудности в использовании земель в сельскохозяйственном производстве.

Содержание тяжелых металлов и физико-химический состав почв бассейна р. Кенгир представлены в табл. 2. Как показали результаты исследования среднее содержание гумуса в горизонте А составляет 2,23 %. Содержа-

ние CO<sub>2</sub> в гумусовых горизонтах колеблется в пределах 0,7...9,6 %. Реакция почвенного раствора в верхних горизонтах слабощелочная (рН в пределах 7,1...8,8). Среднее содержание илистой фракции по всему профилю почв составляет 24,7 % и колеблется в пределах 1,7...43,5 %.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и физико-химический состав исследуемых почв

№ ключевых участков по карте (рис. 2)	Глубина, см	Гумус, %	Карбонаты, %	рН водной суспензии	Илистая фракция	Валовое содержание свинца, мг/кг	Валовое содержание меди, мг/кг	Валовое содержание цинка, мг/кг	Валовое содержание кадмия, мг/кг
<b>Светло-каштановые карбонатные легкосуглинистые почвы</b>									
1	0...10	2,6	1,8	8,1	35,53	9,36	0,78	9,43	0,11
	18...28	1,6	4,5	8,4	6,934	9,23	1,67	8,56	0,14
	40...50	1,2	5,9	8,2	2	8,56	0,45	7,98	0,10
	90...100	0,4	4,1	8,5	36,13	7,8	0,54	8,23	0,11
	150...160	0,2	3,7	8,7	7,3	4,8	0,34	5,65	0,09
<b>Светло-каштановые солонцеватые легкосуглинистые почвы</b>									
2	0...10	2,4	2,5	7,1	37,8	17,65	0,97	11,74	0,13
	13...23	2,0	3,8	7,9	41,1	17,13	0,67	10,56	0,12
	28...38	1,7	6,9	8,5	42,5	17,82	0,45	11,45	0,11
	43...53	1,3	5,3	8,6	43,5	14,54	0,34	8,98	0,12
	60...70	0,5	2,4	8,4	36,6	9,67	0,24	6,56	0,09
	92...102	-	-	8,1	38,8	7,56	0,11	4,62	0,07
<b>Бурые солонцеватые глинистые почвы</b>									
3	0...10	2,3	4,3	7,2	33,8	34,22	1,14	17,01	0,23
	17...27	0,9	5,3	7,7	33,7	34,07	1,45	16,45	0,21
	36...46	0,8	6,0	8,5	37,5	31,78	1,11	14,67	0,12
	78...86	-	4,9	8,7	34,4	13,54	1,09	15,34	0,16
	102...112	-	5,0	8,4	19,4	9,78	0,76	7,45	0,11
<b>Бурые нормальные суглинистые почвы</b>									
4	0...10	2,2	9,6	7,8	7,9	26,82	1,81	17,06	0,14
	13...23	1,4	9,6	7,9	13,9	28,45	1,67	17,02	0,14
	30...40	1,2	1,4	8,0	18,5	24,67	1,23	16,04	0,11
	62...72	1,0	-	8,1	3,9	11,65	1,56	16,01	0,12
	72...90	-	-	7,8	1,7	9,56	0,54	11,76	0,09
<b>Бурые нормальные тяжелосуглинистые почвы</b>									
5	0...8	2,1	0,7	8,7	16,2	25,29	4,01	13,42	0,27

№ ключевых участков по карте (рис. 2)	Глубина, см	Гумус, %	Карбонаты, %	pH водной суспензии	Илистая фракция	Валовое содержание свинца, мг/кг	Валовое содержание меди, мг/кг	Валовое содержание цинка, мг/кг	Валовое содержание кадмия, мг/кг
8...18		2,0	1,6	8,7	18,0	24,56	3,97	12,54	0,11
18...28		1,8	3,0	8,7	20,4	18,45	3,23	11,67	0,21
32...42		0,8	2,7	8,8	22,8	20,65	3,56	12,56	0,10
60...70		-	-	8,7	22,2	16,67	2,87	8,76	0,09
100...110		-	-	8,4	9,6	8,45	1,56	7,45	0,07
<b>Бурые нормальные тяжелосуглинистые почвы</b>									
6 0...10		1,8	-1,1	8,2	5,3	19,54	0,83	9,64	0,11
12...22		1,1	3,8	8,4	8,3	16,65	0,45	8,01	0,12
26...36		1,0	7,0	8,6	11,8	17,45	0,67	7,65	0,10
48...58		0,9	-	8,7	12,3	9,54	0,35	8,45	0,11
110...120		-	-	8,7	8,9	6,45	0,37	6,67	0,09
Предельно-допустимая концентрация, мг/кг						32,0	3,0	23,0	0,5

Среднее содержание валового свинца в почвах бассейна составляет  $16,64 \pm 1,49$  мг/кг (табл. 3), что близко к его кларку в земной коре, равному 16 мг/кг (по А.П. Виноградову). Наиболее высокие концентрации свинца (34,22 мг/кг), превышающие ПДК обнаружены в верхнем почвенном горизонте ключевого участка № 3 (Жездинский), где бурые солонцеватые почвы развиваются на глинах, прикрытых небольшим слоем (20...25 см) легкого суглинка или супеси [6]. О их сильной солонцеватости говорит характер растительности и наличие иллювиального уплотненного горизонта с повышенной щелочностью. Содержание элемента уменьшается по профилю, наблюдается положительная сильная корреляция с гумусом ( $r = 0,80$ ) и прямая слабая корреляция с карбонатами ( $r = 0,15$ ) (табл. 4).

Таблица 3

Вариационно-статистические показатели распределения тяжелых металлов в почвах бассейна р. Кенгир

Элемент	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	lim	$p$	$\sigma$	$C_v, \%$
	мг/кг				
Cu	1,27±0,19	0,11...4,01	3,9	1,10	86,53
Zn	10,92±0,66	4,62...17,06	12,44	3,72	34,10
Cd	0,13±0,01	0,07...0,27	0,2	0,05	36,46
Pb	16,64±1,49	4,8...34,22	29,42	8,42	50,62

Таблица 4

Корреляционные связи валового содержания свинца в почвах исследуемой территории с их основными физико-химическими показателями

Участок	Почва	Гумус	Карбонаты	Илистая фракция	рН среды
Егиндинский	светло-каштановые карбонатные легкосуглинистые	0,84	-0,03	0,03	0,06
Бозтумсыкский	светло-каштановые солонцеватые легкосуглинистые	0,96	0,72	0,48	-0,31
Жездинский	бурые солонцеватые глинистые	0,80	0,15	0,69	-0,68
Сатпаевский	бурые нормальные суглинистые	0,80	0,36	0,79	-0,19
Жезказганский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,81	0,39	0,49	0,79
Сургутинский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,88	-0,21	-0,41	-0,82

Валовое содержание меди в почвах бассейна изменяется от 0,11 до 4,01 мг/кг при средней величине коэффициента вариации 86,53 % (табл. 2). Превышение ПКД, валового содержания меди в верхнем почвенном горизонте (4,01 мг/кг) установлено для бурых нормальных тяжелосуглинистых почв г. Жезказгана (ключевой участок № 5), где они формируются на лессовидных суглинках. Наблюдается уменьшение содержания элемента вниз по профилю с 4,01 до 1,56 мг/кг, так же прослеживается взаимосвязь с уменьшением содержания гумуса от 2,1 до 0,8 %. На поведение меди в рассматриваемых почвах большое влияние оказывает гумус ( $r = 0,80$ ) и рН ( $r = 0,85$ ) (табл. 5).

Таблица 5

Корреляционные связи валового содержания меди в почвах исследуемой территории с их основными физико-химическими показателями

Участок	Почва	Гумус	Карбонаты	Илистая фракция	рН среды
Егиндинский	светло-каштановые карбонатные легкосуглинистые	0,49	-0,02	-0,29	0,33
Бозтумсыкский	светло-каштановые солонцеватые легкосуглинистые	0,93	0,20	-0,04	-0,79
Жездинский	бурые солонцеватые глинистые	0,41	0,14	0,72	-0,46
Сатпаевский	бурые нормальные суглинистые	0,91	-0,02	0,34	0,24

Участок	Почва	Гумус	Карбонаты	Илистая фракция	pH среды
Жезказганский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,80	0,48	0,57	0,85
Сургитинский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,77	-0,34	-0,52	-0,75

Содержание Zn и Cd не превышает ПДК (табл. 2). Среднее содержание цинка в почвах бассейна составила  $10,92 \pm 0,66$  мг/кг, при размахе лимитов 4,62...17,06 мг/кг (табл. 3). Минимальное среднее содержание валового цинка 7,97 мг/кг характерно для светло-каштановых карбонатных почв (ключевой участок № 1, Егиндинский), где они развиваются на продуктах выветривания известняков. Глубокое проникновение гумуса (табл. 2) связано с трещиноватостью почвы и, очевидно, с ее орошением. Повышение общей щелочности на глубине 20...50 см весьма характерно для всех карбонатных почв, что дает повод некоторым исследователям называть их карбонатно-солонцеватыми. Воднорастворимые соли до глубины 90 см содержатся в ничтожных количествах, но глубже количество их резко возрастает за счет хлористых и, особенно, сернокислых солей. Максимальные концентрации цинка характерны для бурых нормальных суглинистых почв (ключевой участок № 4, Сатпаевский). Цинк во всех почвенных образцах имеет сильные корреляционные связи с гумусом, в среднем ( $r = 0,85$ ) (табл. 6).

Таблица 6

Корреляционные связи валового содержания цинка в почвах исследуемой территории с их основными физико-химическими показателями

Участок	Почва	Гумус	Карбонаты	Илистая фракция	pH среды
Егиндинский	светло-каштановые карбонатные легкосуглинистые	0,84	-0,26	-0,18	0,05
Бозтумсыкский	светло-каштановые солонцеватые легкосуглинистые	0,97	0,69	0,39	-0,35
Жездинский	бурые солонцеватые глинистые	0,61	-0,10	0,90	-0,47
Сатпаевский	бурые нормальные суглинистые	0,90	0,25	0,58	0,32
Жезказганский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,87	0,62	0,43	0,75
Сургитинский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,93	0,06	-0,45	-0,75

Среднее содержание Cd в почвах бассейна составила  $0,13 \pm 0,01$  мг/кг, коэффициент вариации 36,46 % (табл. 7). Корреляционная зависимость между содержанием кадмия и pH разных типов почв в большинстве случаев отсутствует. Влияние карбонатов на содержание общего кадмия отчетливо проявляется в светло-каштановых солонцеватых легкосуглинистых почвах ( $r = 0,60$ ). В остальных типах почв связь низкая и зачастую имеет обратный характер (табл. 7).

Таблица 7

Корреляционные связи валового содержания кадмия в почвах исследуемой территории с их основными физико-химическими показателями

Участок	Почва	Гумус	Карбонаты	Илистая фракция	pH среды
Егиндинский	светло-каштановые карбонатные легкосуглинистые	0,47	0,02	-0,31	0,49
Бозтумсыкский	светло-каштановые солонцеватые легкосуглинистые	0,94	0,60	0,39	-0,37
Жездинский	бурые солонцеватые глинистые	0,75	-0,58	0,42	-0,85
Сатпаевский	бурые нормальные суглинистые	0,89	-0,13	0,34	6,27
Жезказганский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,76	0,25	0,06	0,32
Сургитинский	бурые нормальные тяжелосуглинистые	0,69	0,15	-0,20	-0,57

В изученных почвах бассейна отмечается повышенное содержание тяжелых металлов в верхнем почвенном горизонте. Однако в профиле светло-каштановых солонцеватых и бурых нормальных почв наблюдается насыщение свинцом иллювиального горизонта (табл. 2). Причиной такого распределения является, дифференциация профиля по содержанию илистой фракции и карбонатов, более щелочной реакцией почвенного раствора и засоленностью данного горизонта. Основными факторами в накоплении и распределении валового содержания тяжелых металлов в профиле изученных почв является гумус.

По величине средней концентрации исследуемых тяжелых металлов (в мг/кг) почвы бассейна р. Кенгир располагаются в следующем убывающем порядке (табл. 2): Pb (16,64) > Zn (10,92) > Cu (1,27) > Cd (0,13).

Исследованиями установлено, что корреляционные связи между тяжелыми металлами сильные прямые, наибольшая сила корреляционной связи

в паре элементов Zn – Pb ( $r = 0,79$ ). В целом, необходимо отметить, что выявленные корреляционные связи между тяжелыми металлами в почве отражают многофакторность генезиса химического состава исследованных почв и, в какой-то степени, подверженность техногенному загрязнению.

**Заключение.** Геосистемы бассейна р. Кенгир относятся к полупустынным и пустынным типам ландшафта, который усиливает возникающие экологические напряженности. Недостаточное атмосферное увлажнение, резко выраженная континентальность, засушливость, интенсивное испарение, широкое распространение скалистых трещиноватых, а местами и закарстованных горных пород не способствуют формированию устойчивого поверхностного стока.

Изучение распределения валовых форм тяжелых металлов по генетическим горизонтам почв исследуемого региона позволило выявить закономерности накопления его в гумусово-аккумулятивном горизонте. Исследованиями установлено, что превышение ПДК валового свинца характерно для глинистых почв ключевого участка № 3 (Жездинский), превышение ПДК валового содержания меди для бурых нормальных почв ключевого участка № 5 (Жезказганский). Для большинства почв между гумусом и валовыми формами тяжелых металлов выявлена достоверная высокая корреляционная связь. Содержание и распределение валового свинца в почвах и корреляционная зависимость от илистой фракции, карбонатов, pH среды в большинстве случаев отсутствует или имеет связь слабой силы.

Полученные результаты создают основу для выработки подходов и критериев к оценке геоэкологического воздействия антропогенной деятельности на геосистемы бассейна р. Кенгир. Составленную среднемасштабную карту геосистем бассейна р. Кенгир целесообразно использовать для организации и проведения дальнейшего мониторинга окружающей среды в исследуемом регионе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Р.И., Молдахметов М.М. Материалы по гидрографии Казахстана. – Алматы: 2003. – С. 83-85.
2. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – С. 13-15.
3. Калменова У.А. Физическая география Центрального Казахстана. – Жезказган, 2000. – С. 79-82.
4. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв при контроле загрязнения окружающей среды ме-

- таллами / Под ред. Ю.М. Свирежева, В.В. Шакина. – М.: Гидрометеоздат, 1982. – С. 107-109.
5. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: МГУ, 1970. – С. 58-64.
  6. Совместный приказ Министерства здравоохранения РК от 30.01.2004 г. № 99 и Министерства охраны окружающей среды РК от 27.01.2004 г. № 21-п.
  7. Темереева Ф.М. Природа Жезказганского края. – Жезказган, 2002. – С. 105-109.

Поступила 20.05.2017

PhD	Ж.О. Озгелдинова
Геогр. ғылымд. докторы	К.М. Джаналеева
PhD	Ж.Т. Мукаев
	Г.Т. Оспан

### **КЕҢГІР ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНДА АУЫР МЕТАЛЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ КЕҢІСТІКТІК ТАРАЛУЫ**

**Түйінді сөздер:** өзен алабы, геожүйе, антропогендік әсер, техногенез

*Фондық кілттік учаскілердегі және техногендік тұрғыдан қатты ластанған зонадағы геожүйелердің қазіргі геоэкологиялық жағдайына сипаттама берілді Шығарындылар көзіне жақындаған сайын топырақтағы Pb және Cu мөлшерінің ұлғайғандығы анықталды.*

Ozgeldinova Zh.O., Dzhanaleeva K.M., Mukaev Zh.T., Ospan G.T.

### **CONTENTS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF THE KENGIR RIVER BASIN**

**Keyword:** river basin, geosystem, anthropogenic impact, technogenesis

*A characteristic of the modern geoecological state of geosystems in the areas of background key and located in the zone of strong man-made pollution is carried out. A significant increase in the concentrations of Pb and Cu in the soil as the source of emissions is approached.*