

УДК 541.504.06

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КАЛМЫКИИ

© Л.Х. Сангаджиева, Ц.Д. Даваева, Л.Е. Кикильдеев,
Б.В. Цомбуева, Д.Э. Самтанова, О.С. Сангаджиева

Ключевые слова: почвы; корма; пищевая цепь; тяжелые металлы.

Изучено содержание тяжелых металлов (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) в почвах Калмыкии и их дальнейшее распределение по пищевой цепи: растительные корма – овцы. Выявлено, что на всех уровнях пищевой цепи наибольшее биологическое накопление характерно для Zn и Cd. Наблюдается увеличение коэффициента перехода наиболее токсичных элементов, что свидетельствует об их накоплении в более высоких звеньях пищевой цепи.

Калмыкия в настоящее время становится районом с чрезвычайно высокой интенсивностью антропогенного воздействия на природные комплексы. В целях получения урожая, в условиях интенсивного ведения земледелия практически вся территория Республики Калмыкия (РК) находится в сети оросительно-обводнительных систем низкого технологического качества. Однако высокая чувствительность полупустынных ландшафтов к техногенезу, их нестабильность и длительный срок восстановления обуславливают необходимость проведения углубленных экологических испытаний.

В географическом отношении изученная территория занимает северо-западную часть Прикаспийской низменности. Существенным фактором, обусловившим состав, структуру и молодой возраст почв РК, является климат. Здесь преобладают засухи, повсюду, кроме некоторых западных районов, испаряемость значи-

тельно превышает количество атмосферных осадков: на севере территории в 2–3 раза, на юге в 10–20 раз и более. Наряду с равнинным характером местности и слабой дренированностью, это способствовало широкому распространению засоленных почв [1–2].

Калмыкия представляет собой территорию поли-элементной биогеохимической эндемии у населения и животных. Однако в эколого-геохимическом отношении этот регион практически не изучается. Наши исследования заполняют этот пробел, в табл. 1 представлены результаты определения содержания микроэлементов (МЭ) в регионе: выявлено превышение кларка (по Виноградову) по ванадию, бору и йоду, близкие к кларку концентрации хрома, титана, молибдена.

На распределение микроэлементов оказывают влияние рельеф и тип почвы. Определено, что в северо-западной части Прикаспийской низменности существует проблема природного повышенного (ванадия,

Таблица 1

Среднее валовое содержание микроэлементов в почвообразующих породах (мг/кг)

Уровень Элемент	Региональный			Глобальный (кларк)		Коэффициент концентрации (K_K)
	тяжелые суглинки и глины	лессов. суглинки и супеси	ил и песок	по Виноградову	в осадочных породах	
Cr	77,0	150,0	20,8	81,0	100,0	0,8
V	140	160	80	90	130	2,2
Ni	14	7	7	58	95	0,3
Ti	2300	3350	1000	4500	4500	0,8
Mn	517	214	70	1000	610	0,6
Cu	50	16	14	47	57	0,7
Zn	70,0	11,0	31,1	83,0	80,0	0,5
Co	24,0	17,0	1,0	18,0	20,0	0,8
Mo	0,8	1,2	0,6	1,1	2,0	0,9
Be	1,0	1,0	1,0	3,8	3,0	0,3
Ba	450	410	130	650	430	0,7
As	11,0	3,0	8,5	170,0	200,0	0,2
Sr	228	82	62	340	450	0,7
B	48	29	12	12	100	3,0
I	2,2	0,8	0,1	0,3	1,0	1,4

Таблица 2

Влияние рельефа на распределение валовых форм микроэлементов в почвах (мг/кг)

Элемент	Ставропольская возвышенность		Ергенинская возвышенность		Прикаспийская низменность		Региональные фоновые концентрации
	Черноземы обыкновенные	Ккр	Светло-каштановые почвы	Ккр	Бурые полупустынные почвы	Ккр	
B	43,1	10,5	10,5	2,56	2,17	0,53	4,1
V	140,0	1,87	125,0	1,67	84,0	1,12	75,0
Cr	76,0	0,99	60,0	0,78	40,0	0,52	77,0
Mn	1609,0	3,11	1240,0	2,40	465,0	0,90	517,0
Co	20,5	1,95	7,7	0,73	8,0	0,76	10,5
Ni	34,0	1,42	28,0	1,17	20,0	0,83	24,0
Cu	39,0	10,83	17,0	4,72	1,8	0,50	3,6
Zn	49,0	1,08	38,0	0,81	16,0	0,34	47,0
Mo	1,3	1,48	0,8	0,91	0,15	0,17	0,88
Ti	4300,0	1,87	3200,0	1,39	2700,0	1,17	2300
Ba	582,0	1,29	430,0	0,95	420,0	0,93	450,0
Zr	406,0	1,54	200,0	0,76	444,0	1,69	263,0
Sr	215,0	1,03	116,0	0,56	61,0	0,29	208,0
I	3,9	1,78	4,0	1,82	0,8	0,36	2,2

титана, циркония) и пониженного (меди, цинка, молибдена) содержания микроэлементов в почвенных породах и почвах и, как следствие, их избытка или недостатка в растениях, природных водах и пищевой цепи в целом (табл. 2).

Нередко нормализация среды обитания и состава почв привязана лишь к выявлению степени их загрязненности. Критерием их состояния тогда служат отклонения концентраций токсических элементов в воде, воздухе, почве относительно единичных случаев опасного накопления в растительной продукции Zn, Cr, Pb и Cd.

В соответствии с зональным увеличением аридности и уменьшением биологического разнообразия фитоценозов от разнотравно-злаково-белопопынной степи к типичным полупустынным и галофитным пустыням понижается и устойчивость ландшафтов к загрязнению. На почвах происходит снижение роли разнотравья, возрастает роль осоковых. Отмечается внедрение гигрофильных видов и сорных, заносных растений, среди которых постепенно доминирующими становятся рогозы. Вместе с тем у растений проявляется избирательная способность в поглощении отдельных элементов.

Л.Х. Сангаджиевой [3–4] в основу биогеохимического районирования Калмыкии положены следующие показатели: а) геохимические свойства и тип почвообразующих пород; б) миграционная способность содержащихся в них микроэлементов (МЭ); в) отношение содержания в почвах полезных МЭ для растений (Mo, Cu, Zn, Co, B, Mn) к токсичным (Be, Pb, Sr, Ba, Cd).

В соответствии с этими данными в пределах РК нами выделено 12 биогеохимических районов, входящих в следующие четыре биогеохимических округа: 1) со слабой миграционной способностью МЭ в почвах, развитых на глинах; 2) с ниже средней миграционной способностью МЭ в почвах, развитых на карбонатных суглинках; 3) со средней миграционной способностью МЭ в почвах, развитых на легких суглинках (некарбонатных); 4) с высокой миграционной способностью МЭ в почвах, развитых на песках (табл. 3).

Первый геохимический округ распространен на глинах, содержит достаточное количество МЭ для жизнедеятельности растений (1764 мг/кг), что может способствовать обогащению почв и получению высоких урожаев, но плодородие ниже ожидаемого, т. к. МЭ не могут проявить себя, теряя миграционную способность, из-за высокой карбонатности почв, ведущей к их уплотнению. Вследствие этого МЭ, находящиеся в близких к норме количествах, становятся недоступными растениям, и они нередко страдают хлорозом, поражаются паршой и другими болезнями.

В почвах второго округа, развитых на карбонатных суглинках морских отложений, отмечено максимальное содержание МЭ, достигающее более 2000 мг/кг. В этом

Таблица 3

Геохимическое районирование почвенного покрова РК

№ района	Геохимический округ и административный район	Коэффициент полезности
I. Округ со слабой миграционной способностью МЭ		
1	Городовиковский	2,25
2	Яшалтинский	1,80
II. Округ с ниже средней миграционной способностью МЭ		
3	Маньчский	2,45
4	Целинный	1,80
5	Сарпинский	2,00
III. Округ со средней миграционной способностью МЭ		
6	Малодербетовский	2,51
7	Кетченеровский	2,08
8	Юстинский	1,89
9	Яшкульский	1,55
10	Ики-Бурульский	1,40
IV. Округ с высокой миграционной способностью МЭ		
11	Черноземельский	1,28
12	Приморский	1,18

округе выявлено относительно низкое содержание токсичных МЭ в почвах, и соответственно, более высокий коэффициент полезности (K_p). Близкое содержание (1800 мг/кг) МЭ имеют и почвы 3-го округа, развитые на легких суглинках. Однако здесь содержится больше токсичных МЭ, что снижает коэффициент полезности. В 4-м округе содержание МЭ наименьшее (1350 мг/кг) при более высоком содержании токсичных. Связь между содержанием МЭ в растениях и почвах наблюдается довольно часто, но имеются отклонения. У зерновых, например, корреляция установлена только для Zn ($r_{1,2}0,51$). Менее благоприятный питательный режим бурых полупустынных почв ослабляет физиологические процессы в растениях и приводит к ежегодному значительному недобору урожая по сравнению с урожаями на Ергенинской возвышенности. Аналогичные результаты получены при изучении зависимости концентрации МЭ в растениях от погодных условий. Содержание Co в сене люцерны на темно-каштановых почвах под влиянием засухи (в 1972 и 1982 гг.) снизилось до 0,12, Cu – 1,9, Mn – 17, Zn – до 10 мг/кг, в то время как во влажные годы (1978 и 1984 гг.) их концентрация составляла, соответственно, 3,25; 11,6; 64,0; 32,0 мг на кг сухого сена. В засушливые годы сокращается поступление МЭ в растения в 3–15 раз. Под влиянием засухи концентрация Co в картофеле и других овощах снижалась, в пшенице – не изменялась, а в подсолнечнике – возрастала. Низкое содержание МЭ в растениях в засушливые годы идет на образование несравненно меньшей (в 2–5 раз) фитомассы. Все это позволяет утверждать, что во время засухи МЭ поступают в растения в ограниченном количестве, что затрудняет формирование урожая и нередко приводит к биологической неполноценности кормов. У животных часто наблюдается ослабление тканевых окислительных процессов, вызываемых физиологическим недостатком Cu, избытком Mo и V, проявлением эндемических заболеваний. В местах, где из-за высокого стояния грунтовых вод и слабой водопроницаемости суглинистых грунтов загрязнители не могут быть удалены из ландшафтов, флористический состав заметно беднеет, гибнет подрост деревьев, почти полностью исчезают кустарники. Такие изменения являются регрессивными, т. к. в целом ведут к снижению роли доминантных видов. В разнотравно-злаковой, разнотравно-клоповниковой, разнотравно-подорожниковой и разнотравно-белопольной ассоциациях ряд накопления: Mn > Zn > V > Cu > Mo > Co, хотя по уровню концентрации МЭ различаются в 3–7 раз. В солянковой, сарсазановой и чернопольной ассоциациях ряды накопления отличаются: концентрации V, Mo, Cu увеличиваются, а Mn, Co уменьшаются. Белопольные ассоциации занимают

промежуточное положение. Для кормов за оптимальные приняты следующие концентрации МЭ: Cu 7–12, Mn 4–122, Zn 20–96, Co 0,5–1,0, Mo 0,6–2,0 мг/кг. Cu достигает оптимальной концентрации только у бобовых и овощных культур. По Нижнему Поволжью растения дефицитны по Mo, особенно страдают от недостатка этого элемента технические культуры и овощи. В растениях типичных полупустынь Прикаспийской низменности повышены концентрации Mn и Ba (у всех жизненных форм), V (кроме кустарников), Ti (за исключением бобовых), Zn (у кустарников) по сравнению со средним содержанием элементов в золе растений суши (по Боуэну). У всех растений ниже кларка содержание V, Sr, Mo, Co. Тамарикс отличается особенно интенсивным накоплением Zn особенно в ветвях. В побегах и корневищах джужгуна интенсивно накапливается Ni и Sr. Для разнотравья, полыней и кустарников характерно интенсивное накопление Ti, V, Ba. Осоки и злаки имеют малое разнообразие и минимальное содержание МЭ. Лишайники резко выделяются по значительному количеству накапливаемых Ti, Pb, V, Sr. Самостоятельная роль растений, заключающаяся в их способности поглощать в необходимом количестве нужные элементы питания, подтверждается и коэффициентом биологического поглощения (K_b). Особенно активно накапливаются в растениях V, Zn, Cu и Mo. Полученные данные позволяют причислить большинство МЭ к биофильным ($K_b > 1$), что согласуется с концепцией А.И. Перельмана (1986). Содержание МЭ в растениях подвержено значительным колебаниям, обусловленным их биологическими особенностями, почвенными и погодными условиями.

По составу и количеству МЭ, накапливающихся в золе, растения Прикаспийской низменности подразделяются на несколько групп: интенсивного, среднего и слабого накопления. Тамарикс отличается особенно интенсивным накоплением Zn, максимальное количество которого отмечено в ветвях. В ветвях и корневищах джужгуна интенсивно накапливаются Ni и Sr. Для разнотравья, полыней и кустарников характерно интенсивное накопление Ti, V, Ba. Осоки и злаки имеют минимальное содержание и малое разнообразие МЭ. Лишайники резко выделяются по количеству накапливаемых Ti, Pb, V и Sr. Анализ биологического поглощения МЭ растениями гидроморфных участков (осока, рдест) выявляют сходный характер накопления с растениями водоразделов. Однако общая интенсивность биологического накопления в полупустынной зоне ниже, чем в степной и сухостепной зонах. Это подтверждает вывод о более слабом биологическом накоплении химических элементов в подчиненных экобиоморфах по сравнению с зональными.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в крови и тканях овец возраста 6 месяцев, мг/кг

Элемент	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Cd	Pb
В золе крови	0,28–0,65	6,44–16,6	4,13–7,82	75,6–84,9	598,5–768,1	2,01–4,51	0,83–8,85
	0,4	9,8	6,7	80,43	670,0	3,3	4,1
В исходной крови	0,008	0,083	0,057	0,68	5,7	0,028	0,035
Мышечная ткань	17,0	0,10	0,01	3,6	54,0	0,18	1,5
Кости	27,0	0,70	0,03	5,1	37,0	0,10	3,6
Кожа с шерстью	14,0	0,12	0,003	2,8	21,0	0,08	0,2

Имеется значительная группа элементов, заметно концентрирующихся (в десятки, сотни, даже тысячи раз) в золе растений – это Ba, Sr, Pb, Zn, Mn. В отличие от названных элементов Cu накапливается растениями в большей степени, обычно ее содержание в золе растений выше содержания в породах в 2–3 раза. Ряд элементов встречается в золе растений в относительно небольших количествах (равных содержанию в породах или ненамного превышающего), но частота их обнаружения значительно больше, чем в почвах или породах – это Mo, Sn. Сочетание сухой разнотравно-злаковой степи с солончаковыми пустынями выявило растения, способствующие рассолению почв (полыни, солянки, кермек).

Результаты определения элементов в растениях разных зонально-экологических растительных группировок Калмыкии дают представление о фоновых концентрациях элементов и их распределении в живом веществе, указывают также на зональные различия в степени и характере биогенной концентрации элементов высокие и примерно одинаковые в луговых степях и резкое уменьшение в сухих степях с ковыльно-типчаковой и белополынно-костречовой растительностью, где для всей группы рассматриваемых элементов $K_b < 1$.

Многие элементы, как например Pb, Ni, Zn, в золе степных злаков появляются в пределах геохимических аномалий. Редкие случаи обнаружения этих элементов в растениях вне аномалий отмечены в золе полыней и некоторых других представителей разнотравья.

Высоким уровнем накопления МЭ отличается пырей ползучий, горец птичий, тростник обыкновенный, осока, мятлик луковичный и др. Среди них встречаются виды, обладающие контрастной избирательной способностью к поглощению отдельных МЭ. Так, пырей ползучий независимо от местообитания может накапливать большое количество Co – 1,14 мг/кг, тогда как В содержит в пределах 0,02–0,05 мг/кг, а иногда и меньше.

Для оценки перераспределения ТМ по пищевой цепи изучено содержание золы крови, мышечной и костной тканей овец (табл. 4). Зольность крови КРС составила 0,8–0,88 %. Выявлено, что уровень концентраций исследуемых элементов в золе крови животных находится практически в тех же интервалах, что и в золе кормов, большое различие отмечено для тканей и кормов. Средняя концентрация металлов в крови овец убывает в ряду: Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr.

Определены коэффициенты миграции по цепи растительные корма – овцы (отношение среднего содержания ТМ в овцах к среднему содержанию соответствующих металлов в кормах): в зерновых кормах K_m по крови Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Cr, Cd; K_m по органам Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Co; в травянистых кормах K_m по крови; Cu, Zn, Co, Cr, Pb, Ni, Cd; K_m по органам Cr, Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Co.

Полученные результаты показывают, что при переходе на более высокий уровень пищевой цепи изменяется миграция одних из самых токсичных элементов – Cr и Pb. Коэффициенты миграции Cr по цепи почва – растительные корма составил 0,04, и данный элемент занимал последнее место в ряду исследуемых элементов. При переходе на более высокий пищевой уровень растительного корма – овцы коэффициент миграции Cr увеличился в 3 раза в крови и до 100–150 раз в тканях. Кобальт также переместился в группу наиболее под-

вижных элементов, потеснив медь, свинец и цинк. Таким образом, при кормлении травянистыми кормами токсичные элементы становятся менее подвижными.

Следует отметить, что более высокие коэффициенты миграции ТМ в системе корма – овцы по сравнению с системой почва – растительные корма свидетельствует о концентрировании ТМ в более высоких звеньях пищевой цепи, причем накапливаются наиболее токсичные металлы. В связи с этим для предупреждения поступления больших количеств токсикантов в организм животных необходим постоянный контроль качества кормов.

Выявлены превышения МДУ (максимально допустимого уровня) некоторых металлов в кормах: Ni – в зерновых (овес, кукурузе, отрубях, фураже), Cr – в травянистых. Повышенное содержание металлов в кормах объясняется не только избирательностью их поглощения культурами, но и некоторыми зональными особенностями, например, высоким валовым содержанием хрома в лугово-бурых почвах [4–5].

Изучение закономерностей биогеохимической миграции химических элементов и выявление реакций биоты на загрязнение является основой прогнозирования устойчивости аридных геосистем и позволяет свети к минимуму негативные последствия при использовании природных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Изучение возможности переноса ТМ по пищевой цепи почва – растительные корма – овцы показали:

– на всех уровнях пищевой цепи наибольшее содержание установлено для цинка и меди;

– при повышении уровня пищевой цепи наблюдается увеличение коэффициента перехода наиболее токсичных элементов – свинца и кадмия, что свидетельствует об их накоплении в более высоких звеньях пищевой цепи.

2. При использовании интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо вести контроль над содержанием тяжелых металлов в кормах, чтобы предупредить их избирательную миграцию по пищевой цепи.

3. Конечной целью картирования должно быть установление экологического состояния изучаемой территории. Примером этого являются результаты наших исследований Северо-Западного Прикаспия на примере 15 элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 459 с.
2. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.
3. Сангаджиева Л.Х. Микроэлементы в ландшафтах Калмыкии и биогеохимическое районирование ее территории. Элиста: Джангр, 2004. 119 с.
4. Сангаджиева Л.Х. Факторы и механизмы антропогенной трансформации ландшафтов Республики Калмыкия на основе биогеохимического анализа их устойчивости. Саратов, 2006. 420 с.
5. Минеев В.Г. Проблемы тяжелых металлов в современном земледелии // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах: материалы науч.-практ. конф. М., 1994. С. 5-11.

Поступила в редакцию 3 сентября 2012 г.

Sangadzhieva L.Kh., Davayeva Ts.D., Kikildeyev L.E., Tsombuyeva B.V., Samtanova D.E., Sangadzhieva O.S. BIO-GEO-CHEMICAL MIGRATION OF MICRO-ELEMENTS IN ARID ECOSYSTEMS OF KALMYKIA

The concentrations of heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in the soil of Kalmykia and their subsequent distribution over the food chain (plant fodder – sheep) are investigated. It was re-

vealed that the highest biogenic accumulation is characteristic of Zn and Cu at all the levels of food chain. An increase in the transition of coefficients for the most toxic elements Pb, Cd is observed, which is an evidence of their accumulation in the higher levels of food chain.

Key words: soils; plant fodder; food chain; heavy metals.

УДК 620.193

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛАУКОНИТА И ЕГО ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ

© Е.Д. Таныгина

Ключевые слова: глауконит; цеолит; распределение частиц по размерам; адсорбция.

Изучен дисперсный состав глауконита, т. е. слоевого цеолита Бондарского месторождения Тамбовской области. Посредством микроскопического и ситового анализа показано, что максимум частиц приходится на диапазон размеров 50...100 мкм. Метод динамического рассеяния света позволил обнаружить частицы размером менее 10 мкм, способные оставаться во взвешенном состоянии в среде, из которой происходит адсорбция поллютантов. Предложено использовать обогащенный, фракционированный и прокаленный глауконит для очистки артезианской воды.

ВВЕДЕНИЕ

В.И. Вернадский задолго до расшифровки структур силикатов предсказал возможность замещения кремния алюминием в силикатах. В настоящее время алюмосиликаты нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Например, после открытия в конце 1950-х гг. каталитических свойств таких алюмосиликатов, как цеолиты, начались интенсивные исследования их структуры, свойств и методов получения. В природе цеолиты образуются в результате гидротермального синтеза.

Цеолиты представляют собой пористые тела с определенной структурой скелета и регулярной геометрией пор. Важной особенностью цеолитов является возможность варьирования химического состава кристаллов и геометрических параметров (формы и размеров) внутрискристаллических пор, т. е. возможность их структурного и химического модифицирования. Благодаря этому цеолиты весьма перспективны для исследования адсорбционных равновесий, природы адсорбционных взаимодействий, механизма и кинетики каталитических реакций, молекулярно-ситовых эффектов, диффузии молекул в тонких порах контролируемых размеров. Число патентов на синтез и применение цеолитов только в США уже по состоянию на 1973 г. составляло более 2000, а число научных статей по цеолитам, опубликованных к этому же времени, – свыше 7000 [1].

В Бондарском районе Тамбовской области имеется месторождение глауконита. Глауконит (от греч. *glaukos* – голубовато-зеленый), сложный калийсодержащий водный алюмосиликат, минерал из группы гидрослюд подкласса слоистых силикатов непостоянного и сложного состава, выражающегося усредненной формулой $(K, Na, Ca) \times (Fe^{3+}, Mg, Fe^{2+}, Al)_2 [(Al, Si)_3 O_{10}] (OH)_2 \times H_2O$ [1].

Сорбент обладает значительной способностью к поглощению воды и катионному обмену, что может применяться для уменьшения жесткости воды, удобрения почв (в связи со значительным содержанием оксида калия используется для производства комплексных калийно-фосфорных удобрений), изготовления зеленой краски. Таким образом, глауконит является перспективным полезным ископаемым многопрофильного применения, что может быть использовано для решения региональных экологических проблем.

Однако для этого нужна предварительная подготовка сорбента: обогащение, прокаливание (для удаления микроорганизмов), выделение фракций с оптимальной для предполагаемых приложений адсорбционной емкостью. Все это требует определения дисперсного состава сорбента, что и является *целью* данной работы.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Проведен ситовый и микроскопический анализ, а также анализ суспензии глауконита в изопропанолем методом динамического рассеяния света.

Ситовый анализ измельченных материалов основан на механическом разделении частиц по крупности. Глауконит нагружали на сито с ячейками 10...350 мкм, затем с помощью ручного просева материал разделяли на фракции. Микроскопический анализ производили, непосредственно измеряя размеры частиц под микроскопом, в окуляр которого вставлена микрометрическая линейка. Пользуясь микрометрической линейкой, подсчитывали число частиц одного размера в поле зрения. Экспериментальные данные подвергали математической обработке, в основу которой положено число частиц глауконита заданного размера. Затем строили интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц сорбента по размерам.