

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ АМУР В СРЕДНЕМ И НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ

С.Е. Сиротский¹, Г.В. Харитонов¹, В.И. Ким¹, М.А. Климин¹, Н.П. Чижикова²,
З.Н. Тюгай³, Н.С. Коновалова⁴, Е.В. Уткина¹

¹Институт Водных и Экологических Проблем ДВО РАН, ул. Ким-Ю-Чена, 65,
Хабаровск, 680000, Россия. E-mail: sirotsky@ivep.as.khb.ru

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва. E-mail: khitrov@agro.geonet.ru

³Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва.
E-mail: zemfra53@yandex.ru

⁴Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск. E-mail: turtle_83@mail.ru

Исследованы донные отложения основных и второстепенных рукавов реки Амур, припойменных озер. Проанализирован их гранулометрический и валовой составы. Показано влияние крупного притока Амура реки Сунгари как на формирование стока воды и взвешенных наносов, так и на состав донных отложений. Установлено, что в подфракциях ила содержание Fe, Mn, Zn и Cu в 2–4 раза выше, чем в донных отложениях в целом и их остатке после выделения илистых подфракций, что подтверждает значительную роль глинистых минералов в аккумуляции указанных элементов. Показано участие диатомовых водорослей в накоплении Fe, Mn, Zn и Cu.

THE GRANULOMETRIC AND MICROELEMENTAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS IN MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE AMUR RIVER

S.E. Sirotsky¹, G.V. Kharitonova¹, V.I. Kim¹, M.A. Klimin¹, N.P. Chizhikova², Z.N. Tyugai³,
N.S. Konovalova⁴, E.V. Utkina¹

¹Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, Kim-Yu-Chen Str.,
Khabarovsk, 680000, Russia. E-mail: sirotsky@ivep.as.khb.ru

²Docuchaev Soil Science Institute, RAAS, Moscow. E-mail: khitrov@agro.geonet.ru

³Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University. E-mail: zemfra53@yandex.ru

⁴Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk. E-mail: turtle_83@mail.ru

Bottom sediments of the main and minor branches of the Amur River and floodplain lakes have been investigated. Their particle-size distribution and total composition have been analyzed. The influence of the Sungari River, the largest Amur River branch, on both the formation of water runoff and suspended load, and the composition of bottom sediments is shown. The content of Fe, Mn, Zn, and Cu in the clay subfractions was higher than in the bottom sediments and in the residue after the separation of the clay subfractions by 2–4 times, which confirmed the functional significance of the clay minerals. The contribution of the diatoms to the accumulation of Fe, Mn, Zn, and Cu was shown.

Проблема загрязнения окружающей среды для бассейна Амура становится все более актуальной в связи с бурным экономическим развитием Китайской Народной Республики. Река Сунгари – самый крупный приток Амура, ее бассейн практически полностью находится на территории КНР. В отдельные годы сток воды в реке Сунгари может превышать сток воды в Амуре и достигать 18000 м³/с. При прохождении паводков количество взвешенных веществ в р. Сунгари может превышать 1500 мг/дм³. Важными трансгранич-

ными притоками Амура являются реки Аргунь и Уссури, сток воды которых в значительной степени влияет на экологическое состояние Амура. Однако наиболее высока антропогенная нагрузка (влияние сельскохозяйственного производства, промышленного загрязнения, разработки полезных ископаемых, строительства гидротехнических сооружений) в бассейне р. Сунгари (Second assessment..., 2011). Основная область направленной аккумуляции речных наносов в бассейне Амура охватывает долину реки от впадения р. Сунгари до устья (Махинов, 2006; Kim, 2010).

При рассмотрении экологического состояния трансграничных рек и биосферных экосистем в целом большое значение имеют исследования речных донных отложений, их гранулометрического состава. Гранулометрический состав речных донных отложений характеризует как условия аккумуляции речных наносов (гидрологический режим реки, геологические и тектонические процессы, происходящие в бассейне реки), так и реальные и возможные процессы накопления тех или иных загрязняющих веществ, поступающих с сопредельных территорий. Донные отложения различных водных систем традиционно используются в качестве индикатора интенсивности и масштабов техногенного загрязнения (Förstner, Wittmann, 1983; Moor, Ramamoorthy, 1984).

Цель данной работы – исследование особенностей гранулометрического состава и распределения микроэлементов во фракциях донных отложений Амура. Работа является продолжением исследований авторов экосистемы р. Амур (Чижикова и др., 2004; Чижикова и др., 2011; Kim, 2010). В настоящей работе основное внимание было уделено генерализации данных микроэлементного состава отдельных фракций донных отложений. Также было рассмотрено содержание микроэлементов в отдельных компонентах экосистемы р. Амур (сестон, эпибитон).

Объектом изучения являлись донные отложения рукавов Амура, зон аккумуляции и припойменных озер. Отбор проб проводился на участке от устья р. Сунгари до Амурского лимана на различных морфологических створах Амура, его притоках и припойменных озерах в течение летне-осеннего периода 1997 г. Объектами биогеохимического опробования послужили сестон и эпибитон р. Амур. Сестон – взвешенные в воде планктонные микроорганизмы с примесью неорганических веществ – отбирали с помощью планктонной сети Апштейна из мельничного газа № 76 (диаметр ячейки 0,1 мм). Эпибитон – водоросли обрастаний гравийно-галечного субстрата – отбирали методом смыва. Дополнительно были отобраны образцы осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений г. Хабаровска. ОСВ – технический аналог сестона: в систему водоснабжения вода поступает непосредственно из р. Амур.

При выполнении гидрологических работ использовались стандартные оборудование и методики (Наставления..., 1975; Руководство..., 1975). В основу исследования положены гранулометрический и валовой химический анализы осадков, рентгеноспектральный микроанализ и электронно-микроскопические исследования отдельных фракций. Определение гранулометрического состава донных отложений русла производилось ситовым методом (Вадюнина, Корчагина, 1973), донных отложений зон аккумуляции и припойменных озер – лазерно-дифракционным методом (Shein et al., 2006). Илистые подфракции (<2 мкм) дробной пептизации донных отложений – воднопептизируемый (ВПИ) и агрегированный (АИ) илы – выделены по методу Горбунова (Горбунов и др., 1952).

Электронно-микроскопические исследования (РЭМ-анализ) проводили на растровом электронном микроскопе «EVO 40 HV» (Карл Цейсс, Германия). Для съемки образцы были подготовлены методом суспензии в этиловом спирте с последующим высушиванием и напылением Au, увеличение до 50000. Для анализа элементного состава наиболее репрезентативных участков препаратов использовали энергодисперсионный спектрометр «INCA Energy 350» (Oxford, Великобритания). Валовой макро- и микроэлементный состав фракций образцов донных отложений реперных участков определяли рентген-флуоресцентным энергодисперсионным методом на приборе WRA-30. Анализ микроэлементно-

го состава основной части образцов донных отложений, сестона, эпилимнтона и ОСВ был проведен эмиссионно-спектральным методом. Анализ проводили на приборах СТЭ-1 и ДФС-8. Все образцы были предварительно высушены при 105 °С и озолены при 450 °С.

Анализ данных гранулометрического состава донных отложений предварим некоторыми определениями и общими соображениями для обоснования разделения отложений на русловые, зон аккумуляции и припойменных озер, а также выбранных методов анализа. Донные отложения – это «закрепленные» на дне и подводных склонах водоемов наносы. Под речными наносами понимают совокупность минеральных и органических частиц, поступающих в водные потоки вследствие разрушения горных пород, почвенного покрова, размыва склоновых, речных, озерных, морских отложений и транспортируемых ими в направлении движения потока. В зависимости от среднего диаметра частиц они относятся к фракции валунов, гальки, гравия, песка, пыли, ила и глины. Эти же фракции входят в состав донных отложений вследствие переотложения и аккумуляции наносов. К частицам, способным «закреплять», относят пыль и ил с глиной. В составе русловых отложений преобладают относительно крупные частицы. Отложения зон аккумуляции и припойменных озер в основном формируются более мелкими частицами – тонкий песок, пыль, ил. За границу размеров частиц между транзитной (бассейновой) и русловой составляющими наносов обычно принимают размер частиц ~100 мкм (Страхов, 1962; Алексеевский, 1998; Чалов, 2008). Именно поэтому в работе отдельно рассмотрены донные отложения основных рукавов Амура, зон аккумуляции и припойменных озер. Донные отложения были проанализированы соответствующими размерам частиц методами: отложения русла и проток – ситовым методом ($<0,1$ – >10 мм), отложения зон аккумуляции и припойменных озер – лазерно-дифракционным методом (0,1–250 мкм).

Гранулометрический состав донных отложений русла варьирует в большом диапазоне значений – от галечников до пылеватых частиц. По соотношению отдельных фракций отложения галечно-гравийно-песчаные, преимущественные фракции – средний и мелкий песок – 70–98 %. Гравийные отложения характерны для створов, расположенных у с. Сикачи-Алян и г. Комсомольск-на-Амуре. Более грубые по составу галечные отложения с преимущественной фракцией 10–50 мм приурочены к левому берегу р. Амур. Наиболее крупные фракции (гравийные и галечные, а местами и крупный булыжник) повсеместно встречаются на перекатах вдоль всего фарватера Нижнего Амура (Соловьев, 1973). Это размывы и переотложенные отложения верхнечетвертичной полигенетической равнины. Известно, что состав донных отложений русла на том или ином створе, кроме транспортирующей способности потока, глубины и морфологии дна русла, зависит и от состава подстилающих более древних отложений (Чалов, 2008). Современные (голоценовые) пойменно-русловые отложения Амура «вложены» (размыты и переотложены) в полигенетические озерно-аллювиальные осадки верхнечетвертичного возраста. Верхнечетвертичная полигенетическая аккумулятивная равнина с наивысшим уровнем аккумуляции за всю историю формирования рельефа занимала в бассейне Амура обширную территорию, включая бассейны Сунгари, Уссури, Амгуни и других притоков. Современная направленная аккумуляция наносов происходит на меньшей площади, захватывая лишь долину Нижнего Амура и низовья некоторых его притоков (Махинов, 2006).

Следует отметить, что до впадения Сунгари донные отложения русла Амура характеризуются более грубым составом: средний и крупный песок и мелкий гравий составляют более 70 % (фарватер, 2 км выше устья притока). Ниже впадения р. Сунгари в Амур возрастает интенсивность осаждения взвешенных частиц в воде. Донные отложения ниже устья притока (фарватер, 2 км ниже устья) содержат более 70 % частиц размером меньше 0,1 мм, остальное – мелкий песок. На других участках Нижнего Амура, после впадения притоков подобных явлений не отмечается. При этом мутность Сунгарийского потока воды остается достаточно высокой. Он не перемешивается с Амурским потоком (существенно менее мутным) на протяжении более 270 км.

Донные отложения р. Амур в зонах аккумуляции и припойменных озер – это транзитные наносы, преимущественный размер частиц которых <100 мкм (Страхов, 1962). Согласно дифференциальным кривым, они представлены пелитовой, алевропелитовой и алевроитовой фракциями (0–2, 2–10 и 10–100 мкм соответственно) приблизительно в равных долях. Мелкого песка (100–250 мкм) мало: максимум его содержания (5 %) отмечается у о. Ромашкин. Содержание алевропелитовой фракции в донных отложениях вниз по течению практически не меняется. Содержание и соотношение пелитовой и алевроитовой фракций обусловлено гидродинамическим режимом: с увеличением скорости течения содержание алевроитов возрастает, содержание пелитов – снижается. Что касается донных отложений зон аккумуляции эстуария Амура и Амурского лимана, их более грубый состав обусловлен влиянием приливно-отливных течений. Они выносят в Охотское и Японское моря основную массу взвешенного материала.

Донные отложения припойменных озер характеризуются гранулометрическим составом, близким к отложениям зон аккумуляции, что вполне закономерно, поскольку припойменные озера в условиях направленной аккумуляции имеют тесную связь с водным режимом Амура. В паводок вода поступает из Амура в протоки, соединяющие припойменные озера с Амуром. В межень сток имеет обратное направление. Некоторые разливы связаны с перехватом припойменными озерами стока наносов, поступающего из притоков, и накоплением в них органического вещества. Общая тенденция перехвата стока наносов притоков припойменными озерами проявляется в дифференциальных кривых гранулометрического состава. Так, для поверхностного слоя донных отложений оз. Бич-Хоуни (р. Горин) на дифференциальных кривых четко диагностируется дополнительный пик более крупной фракции с максимумом в 120 мкм. В свою очередь минимальный в рассматриваемом ряду средний диаметр частиц отложений оз. Чля свидетельствует об их специфическом составе – сравнительно высоком содержании органического вещества.

Таким образом, донные отложения зон аккумуляции характеризуются наибольшим содержанием тонкодисперсных компонентов – пелитовых или илистых частиц размером <2 мкм. Последние, вследствие большой удельной поверхности и особенностей минерального состава, определяют процессы обмена экосистем с внешней средой, накопление тех или иных загрязняющих веществ, поступающих с сопредельных территорий. Разделение пелитовой (илистой) фракции на воднопептизируемую и агрегированную подфракции, которое часто используется в почвенных исследованиях, позволило оценить их участие в процессах сорбции микроэлементов.

Так, содержания микроэлементов (за исключением Zr) в донных отложениях р. Амур не превышают средних содержаний элементов в осадочных породах (Виноградов, 1962). Однако в тонкодисперсных фракциях по сравнению с остатком от отмучивания и донными отложениями в целом содержится существенно больше Zn и Cu. Средние содержания Zn в илистых фракциях составляют 146 (ВПИ) и 180 (АИ) мг/кг, в остатке от отмучивания илов – 59 мг/кг. Средние содержания Cu в ВПИ и АИ ~40 мг/кг, в остатке от отмучивания илов – 20 мг/кг. Аккумуляция микроэлементов тонкодисперсными компонентами донных отложений связана с образованием поверхностных комплексов катионов тяжелых металлов с глинистыми минералами (Schlegel et al., 2001).

Илистые подфракции по сравнению с остатком от отмучивания и донными отложениями в целом характеризуются более высоким содержанием железа и марганца. Так, содержания Fe_2O_3 в ВПИ и АИ составляют 11,8 и 14,9 %. В донных отложениях в целом и в остатке от отмучивания илов эти показатели значительно ниже (4,9 и 2,9 % соответственно). Высокие содержания железа обусловлены наличием в тонкодисперсной части донных отложений хлоритов и смешанослойных слюда-сметитовых образований.

Следует отметить, что наибольшей аккумулятивной способностью по отношению к Fe, Mn, Zn и Cu из биологических объектов в экосистеме Амура обладают водоросли – сестон и эпилитон. Содержание в сестоне Zn и Cu даже несколько выше, чем в тонкодиспер-

сных фракциях донных отложений. В осадке сточных вод (технический аналог сестона) отмечается еще большее накопление Zn и Cu – 200 и 400 мг/кг, соответственно. Аккумуляция Fe, Mn, Zn и Cu в сестоне, эпилитоне и ОСВ позволяет предполагать, что накопление этих элементов в тонкодисперсных фракциях донных отложений может происходить (один из возможных механизмов) за счет продукт–субстратного взаимодействия (Заварзин, 2004) диатомовых водорослей в системе речная вода–взвеси–донные отложения (глинистые минералы).

Действительно, как показал РЭМ-анализ, донные отложения и их пелитовые фракции содержат большое количество диатомовых водорослей. Представители основных семейств были обнаружены и в речных взвесьях Амура и Сунгари. В составе остатка донных отложений после отмучивания илов диагностируются только корродированные зерна кластогенных минералов (полевые шпаты разной степени выветрелости и дисперсности), диатомовых водорослей практически нет.

Известно, что диатомовые водоросли играют большую роль в создании первичной продукции и в геохимических циклах элементов (кремний, углерод), для их роста необходимы Fe, Mn, Zn и Cu. Железо является одним из основных (после Si и N) регулятором роста популяции диатомовых водорослей (Brzezinski, 2008). Определение содержания тех или иных элементов в составе диатомовых водорослей крайне затруднительно вследствие недостаточности разработки методов анализа и способов их выделения без изменения состава. Однако М.Д. Джонге с соавторами (de Jonge et al., 2010) удалось блестяще решить эту задачу для клетки диатомовой водоросли *Cyclotella meneghiniana* (семейство Stephanodiscaceae). Использование рентгенфлюоресцентной микротомографии с высоким разрешением (400 нм) позволило авторам показать и доказать участие именно Fe, Mn, Zn и Cu в составе «живой» клетки (высушена для анализа после выделения из культуры).

Почти двукратное превышение содержания Zr в донных отложениях в целом и остатке от отмучивания илов по сравнению со средним его содержанием в осадочных породах и содержанием в ВПИ и АИ (367–371, 200 и 141–176 мг/кг, соответственно) связано с присутствием в донных отложениях циркона. Циркон, стойкий к выветриванию акцессорный минерал изверженных пород, часто встречается в тяжелой фракции осадочных отложений. Как показал рентгеноспектральный микроанализ, в тонкодисперсных фракциях донных отложений встречаются только единичные ксеноморфные микрокристаллы циркона размером $1\text{--}2 \times 4\text{--}10$ мкм. В остатке от отмучивания илов были обнаружены крупные кристаллы циркона – практически идиоморфные (несколько выветрелые и окатанные) размером до 40×120 мкм. РСМА-Анализ показал, что это циркон без примесей с идеальной формулой ZrSiO_4 (отношение $\text{Zr}:\text{Si} \sim 1:1$).

Дополнительный анализ тонкодисперсной части верхних горизонтов почв территории водосбора, пойменных наилков, взвешенных веществ в воде реки и донных отложений зон аккумуляции позволили установить тесную связь минералогического состава этих частей геосистемы. Тонкодисперсные компоненты (ВПИ и АИ) наилков поймы, донных отложений зон аккумуляции и поверхностных горизонтов почв водосбора имеют сходный состав минералов. Отмечается большее сходство ВПИ и АИ донных отложений с наилками поймы и взвешенными веществами р. Сунгари, чем с почвами водосбора и взвешенными веществами р. Амур (выше впадения р. Сунгари). Данные растровой электронной микроскопии подтвердили сходство минералогического состава тонкодисперсной части донных отложений Амура, взвешенных веществ р. Сунгари, а также почв водосбора, их преимущественно гидрослюдистый состав. Это обусловлено влиянием на состав донных отложений Амура как стока взвешенных наносов р. Сунгари, так и продуктов размыва переотложенных осадков Среднеамурской равнины и почв, развитых на этих отложениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Область современной направленной аккумуляции Амура от впадения Сунгари до устья характеризуется преимущественным накоплением в донных отложениях русла (галечно–гравийно–песчаных по составу) среднего и мелкого песка, что соответствует равнинному характеру этого участка реки.

Донные отложения зон аккумуляции и припойменных озер – это транзитные пелитово-алевритовые наносы. Они характеризуются близким гранулометрическим составом, поскольку припойменные озера в условиях направленной аккумуляции имеют тесную связь с водным режимом Амура. Содержание алевропелитовой фракции в донных отложениях вниз по течению реки практически не изменяется (относительные изменения менее 10 %). Соотношение пелитовой и алевритовой фракций отражает гидродинамический режим зоны аккумуляции.

На состав донных отложений основных рукавов, зон аккумуляции и припойменных озер Нижнего Амура определяющее влияние оказывают размыв и переотложение озерно-аллювиальных осадков четвертичного возраста. Притоком, наиболее сильно влияющим не только на формирование стока воды и взвешенных частиц, но и на состав донных отложений (их тонкодисперсной части), является р. Сунгари.

При оценках техногенного загрязнения бассейна Амура (накопления тех или иных микроэлементов) следует иметь в виду, что именно тонкодисперсные компоненты донных отложений характеризуются наибольшей в этом отношении информативностью. Так, если в настоящее время содержание микроэлементов в донных отложениях р. Амур за исключением Zr не превышает их средних содержаний в осадочных породах, то в тонкодисперсных фракциях отмечается более чем двукратное (по сравнению с осадочными породами) накопление Fe, Mn, Zn и Cu. Аккумуляция микроэлементов тонкодисперсными компонентами донных отложений связана с образованием ими поверхностных комплексов с глинистыми минералами. Накопление указанных элементов в тонкодисперсной части донных отложений может происходить также за счет диатомовых водорослей сестона.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеевский Н.И. 1998.** Формирование и движение речных наносов. М: Изд-во МГУ. 202 с.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. 1973.** Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа. 400 с.
- Виноградов А.П. 1962.** Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. № 7. С. 555–571.
- Горбунов Н.И., Цюрупа И.Г., Шурыгина Е.А. 1952.** Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах. М.: Изд-во АН СССР. 185 с.
- Заварзин Г.А. 2004.** Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука. 348 с.
- Махинов А.Н. 2006.** Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука. 232 с.
- Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. 1975.** Вып. 2. Ч. II. Л.: Гидрометеоиздат. 263 с.
- Руководство по гидрологической практике. 1975.** Л.: Гидрометеоиздат. 513 с.
- Соловьев И.А. 1973.** Скорости течения и мутность воды вдоль фарватера Нижнего Амура // Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск: Хаб. КНИИ ДВНЦ АН СССР. Вып. 13. С. 69–84.
- Страхов Н. М. 1962.** Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР. Т. II. 575 с.

- Чалов Р.С. 2008.** Русловедение: теория, география и практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М: Изд-во ЛКИ. 608 с.
- Чижикова Н.П., Харитонова Г.В., Матюшкина Л.А., Сиротский С.Е. 2004.** Минералогический состав тонкодисперсной части почв среднего и нижнего Приамурья, донных отложений и взвесей реки Амур // Почвоведение. № 8. С. 1000–1012.
- Чижикова Н.П., Сиротский С.Е., Харитонова Г.В., Манучаров А.С., Коновалова Н.С., Уткина Е.В. 2011.** Минералогический и химический состав тонкодисперсной части донных отложений р. Амур // Почвоведение. № 7. С. 848–860.
- Brzezinski M.A. 2008.** Mining the diatom genome for the mechanism of biosilification // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. V. 105. № 5. P. 1391–1392.
- De Jonge M.D., Holzner C., Baines S.B. et al. 2010.** Quantitative 3D elemental microtomography *Cyclotella meneghiniana* at 400-nm resolution // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. V. 107. P. 15676–15680.
- Förstner U., Wittmann G.T.W. 1983.** Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin: Springer. 486 p.
- Kim V.I. 2010.** Hydrological regime of the Amur River and changes caused by economic activities // Report on Amur-Okhotsk Project. № 6. Japan (Kyoto): Research Inst. for Humanity and Nature. P. 129–138.
- Moor J., Ramamoorthy S. 1984.** Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment. N. Y.: Springer. 288 p.
- Schlegel M.L., Manceau A., Charlet L., Hazemann J-L. 2001.** Adsorption mechanisms of Zn on hectorite as function of time, pH, and ionic strength // American J. of Sci. V. 301. P. 798–830.
- Second assessment of transboundary rivers, lakes and ground waters. 2011.** Part IV. Chapter 2. Drainage basins of the sea of Okhotsk and sea of Japan. Geneva: United Nations. P. 99–106.
- Shein E. V., Milanovskii E. Yu., Molov A. Z. 2006.** The effect of organic matter on the difference between particle-size distribution data obtained by the sedimentometric and laser diffraction methods // Eurasian Soil Science. V. 39. Suppl. 1. P. S84–S90.