

### РУСЛООБРАЗУЮЩИЙ АЛЛЮВИЙ РЕКИ АМУР В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ: СОСТАВ, СВОЙСТВА, ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ОТ УСТЬЯ РЕКИ ЗЕЯ ДО ХИНГАНСКОГО УЩЕЛЬЯ

М. Н. Гусев, Ю. В. Помигуев

*Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, Россия*

*Поступила в редакцию 8 сентября 2016 г.*

**Аннотация:** Определен механический состав, структура, основные свойства и особенности распространения вдоль реки руслообразующего аллювия р. Амур на участке от устья р. Зея до Хинганского ущелья, выявлено рельефоформирующее значение отдельных его фракций. Установлено, что ведущая роль в распределении руслообразующего аллювия по длине принадлежит внутренним (гидродинамическим) свойствам водотока, зависящим, прежде всего, от уклона продольного профиля водотока. Однако проявления гидравлической сортировки существенно вуалируют изменения внешних (по отношению к водотоку) условий ширины дна долины и местные источники наносов.

**Ключевые слова:** река Амур, руслообразующий аллювий, гранулометрический состав, взвешенные наносы, влекомые наносы, отмостка, формы руслового рельефа.

**Abstract:** The mechanical composition, structure, and main properties and features of the distribution of the river Amur's alluvium in the area from the mouth of the river Zeya to Khingan Gorge has been determined, the channel forming value of some of its factions has been revealed. It was found that the leading role in the distribution of channel – forming alluvium along the length of the inner member (hydrodynamic) watercourse's properties, depending primarily on the slope of the longitudinal profile of the watercourse. However, manifestations of hydraulic sorting veil significantly change the external (in relation to the watercourse) conditions of the valley bottom width and local sources of sediment.

**Key words:** Amur River, channel-forming alluvium, grain-size distribution, suspended sediments, traction load, erosion pavement, the channel forms a relief.

Аллювий всегда сопутствует водотоку, в результате чего он – один из распространенных генетических типов континентальных отложений [23]. Им сложены все основные формы и элементы флювиального рельефа и, прежде всего, такие динамичные геоморфосистемы, как днища речных долин (далее – ДРД) [7]. В своих основных чертах и свойствах аллювий отражает характер, особенности и закономерности в работе водных потоков, природную обстановку их функционирования, своеобразие и механизм формирования всего комплекса флювиального рельефа: от элементарных русловых форм до крупных речных долин [10, 12]. Этим объясняется повышенный интерес к аллювию со стороны исследователей и специалистов различных отраслей знаний и производств, вклю-

чая строительство, транспорт, гидроэнергетику, практический интерес которых имеет отношение к речным долинам.

В своем составе аллювий нередко содержит разнообразные скопления ценных полезных ископаемых, поиск которых непосредственно сопряжен с познанием основных параметров аллювия и его свойств [1, 2]. Поэтому изучение аллювия чрезвычайно важно как в познавательном, так и прикладном аспектах.

Аллювий – результат деятельности водотока и один из основных факторов (в терминологии [11]) формирования ДРД, в частности, русла. Свойства аллювия (прежде всего, динамические) определяют режим стока наносов. Сток наносов реки Амур по сравнению с другими крупными реками России изучен недостаточно полно. О стоке наносов

в ее верхнем и среднем течении судят по результатам единичных проб мутности воды в ходе кратковременных измерений расходов воды, выполненных в середине и в конце 20 века в двух пунктах Верхнего Амура и в одном пункте среднего течения [16, 20, 21]. Специализированных продолжительных наблюдений за стоком влекомых наносов – главной составляющей руслообразующего аллювия в среднем течении реки Амур до сих пор не проводилось. Это обусловлено действием на территории днища долины реки Амур (в ее верхнем и среднем течении) пограничного режима, регламентирующего в его пределах всякую деятельность, в том числе и исследовательскую.

В основу статьи положены результаты предметного изучения руслообразующего аллювия реки Амур в ходе полевых исследований, последующего анализа и обобщения их, а также данных литературных и фондовых первоисточников. Поэтому предлагаемый материал носит фактологический характер. Выполненные исследования и их результаты позволяют отчасти компенсировать недостаток информации в отношении аллювия, слагающего современное русло реки, который во многом определяет устойчивость русловых форм к воздействию водного потока, а с ней и устойчивость фарватера пограничной реки, что весьма актуально и в геополитическом отношении.

Речная долина на всем 410 км (от устья слияния рек Амур и Зея до Хинганского ущелья) участке, расположенном в пределах южной периферии Зейско-Буреинской равнины, дренирует два контрастных орографических объекта: горное сооружение Малого Хингана на правом берегу и крупную межгорную Амурско-Зейскую впадину на левом берегу. Специфика развития этих объектов нашла проявление в особенностях строения амурской долины и ее днища. Левый относительно низкий (до 30-40 м) пологий (4-6°) борт долины, где широко представлены 3 надпойменные террасы, слагают в основном верхне-среднечетвертичные аллювиальные отложения ( $Q_2-Q_3$ ). Более крутой (> 10-15°) и высокий (до 50-100 м) правый борт нередко лишен террас и сложен более древними рыхлыми отложениями цагайской свиты ( $K_{2cg}$ ) и зейской серии ( $Pg_3-Q_1$ ), а местами и вулканическими породами мела ( $K_{1,2}$ ). Днище долины слагает современный аллювий ( $Q_4$ ), мощностью 15-21 м, как правило, ниже или равной нормальной мощности [8]. Его подстилают рыхлые аллювиальные, озерно-аллювиальные (в основном глины) отложения цагайяна ( $K_{2cg}$ ) или осадочные (алевролиты, ар-

гиллиты) и вулканические (риолиты, дациты, андезиты) породы мелового возраста ( $K_1$ ), местами – граниты верхнего палеозоя ( $PZ_3$ ).

От слияния рек Амур и Зея (имеющих соответственно 12 и 11 порядок в классификации Философова-Страллера) расходы воды объединенного водотока более чем удваиваются (с 1610 до 3486 м<sup>3</sup>/с) [19], что обеспечивает ему сравнительно высокую эрозионную и транспортирующую способность. Далее, на протяжении 270 км среднегодовые расходы воды мало изменяются (до 3658 м<sup>3</sup>/с) [19] по причине отсутствия сколько-нибудь крупных притоков. Сливаясь с рекой Бурей, расходы воды реки Амур увеличиваются почти на 25 % (до 4569 м<sup>3</sup>/с), а ниже (к Хинганскому ущелью) постепенно возрастают до 4770-4780 м<sup>3</sup>/с [19]. Устойчивому переносу наносов способствует повышенная неравномерность стока не только по длине реки, но и в продолжение гидрологического года. В теплый период по реке проходит до 80-90 % ее годового стока [16]. При этом максимальный сток связан с паводками второй половины лета, когда объем воды за месяц может составлять 30-35 % его годовой нормы, что в 2-6 раз превышает весенние максимумы [5].

Обладая повышенной транспортирующей способностью, река формирует сравнительно ограниченный набор форм русла. Наиболее распространены излучины (45,9 %), среди которых преобладают (88 %) сегментные пологие излучины. На долю разветвленного русла и относительно прямолинейного неразветвленного русла (в классификации МГУ) приходится соответственно 27,5 % и 26,5 %.

Средняя скорость течения в реке изменяется от 0,9-1,5 м/с – в межень, до 2,2-2,6 м/с – в паводок, местами увеличиваясь до 3,0 м/с, а ниже устья реки Бурей – скорость выше 3,0 м/с. Средние глубины составляют от 4-5 м до 10-12 м, максимальные – до 14 м (Гродеково, Пашково). Уклоны водотока изменяются от 0,06 ‰ до 0,3 ‰, в среднем составляют 0,1 ‰; паводковые уклоны, как правило, выше меженных. Ширина русла в пойменных бровках в среднем составляет около 1,5 км, в паводок может увеличиваться до 2,4 км, а локально (на участках разветвлений) – до 4-6 км.

В ходе работы нами использовались полевые методы исследований форм рельефа и рыхлых образований [17], методы геоморфологического картографирования [3], методика русловых исследований и изучения руслообразующих наносов [22], методы статистической обработки и интер-

претации гранулометрического анализа рыхлых отложений [15, 18].

Предметному изучению состава и свойств руслообразующего аллювия предшествовал отбор его проб в пределах прибрежных отмелей и кос при меженном уровне воды. Точки отбора проб намечались таким образом, чтобы опробованием были охвачены все морфологически однородные участки русла и наиболее представительные русловые формы на изучаемом участке реки. Крупнообъемные (весом 30-40 кг) пробы отбирались непосредственно в приустьевой части русла на площадках размером 1 м x 1 м. Перед опробованием сначала определялась размерность, петрографический состав, морфоскопические свойства обломков, слагающих с поверхности площадки и формирующие, так называемую отмостку русла из наиболее крупного материала, который участвует в движении только в паводок при высоких скоростях течения. На гранулометрический анализ отбирался материал, залегающий под отмосткой с глубины 10-20 см от поверхности. В камеральных условиях каждая проба аллювия подвергалась механической сепарации на отдельные фракции, в соответствии с общепринятыми требованиями к анализу рыхлых отложений [17, 22]. Для этого применялся стандартный набор сит с диаметром отверстий 70; 50; 20; 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм, а для отдельных проб – сито с диаметром 0,1 мм. В ходе сепарации сначала определялась доля обломков каждой фракции пробы. Затем вычислялась величина среднего диаметра пробы по формуле:

$$d_{50} = 0,01 \sum_{n=1}^N (d_n P_n), \quad (1)$$

где  $d_n$  – средний размер фракций,  $P_n$  – процентное содержание фракций в пробе.

Степень сортированности материала вычислялась на основе предложенной Ю. Г. Симоновым [15] меры относительной энтропии ( $S_d$ ) – показателя, лишённого тех недостатков, которые присущи другим применяемым коэффициентам сортированности (однородности) обломочного материала:

$$S_d = 1 - \frac{H_i}{\log_2 n}, \quad (2)$$

где  $H_i$  – энтропийный показатель (мера несортированности) К. Шеннона:  $H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$ ,  $n$  – количество фракций,  $P_i$  – доля (в %) каждой фракции.

Для познания свойств руслообразующего аллювия были использованы также справочные дан-

ные гидрометеорологической службы СССР [4, 6, 16], характеризующие сток преимущественно взвешенных наносов рек амурского бассейна.

Аллювий, слагающий все разнообразие русловых форм и именуемый как «руслообразующий» [13, 14], в пределах рассматриваемого участка реки Амур чрезвычайно неоднороден по крупности и составу, различен по способу транспортировки. Подавляющая его часть перемещается непосредственно по дну в составе донных гряд. Гораздо меньше в его составе частиц, транспортирующихся во взвеси. Согласно результатам специализированных наблюдений за стоком взвешенных наносов [16] средняя крупность взвешенных частиц – величина, существенно изменчивая. Только в продолжение теплого сезона она может меняться более чем в 2 раза: с 0,06 до 0,15 мм. При этом более 60 % взвешенных наносов – алевритовые частицы (крупностью < 0,1 мм). Песок же в составе взвеси представлен преимущественно фракциями тонкозернистого песка (рис. 1А). Более крупного песка во взвеси существенно меньше: его количество зависит от внутренних свойств водотока, определяющих форму его транспорта.

При сопоставлении данных специализированных наблюдений за стоком наносов [16] в нижнем течении реки Зея (гидроствор Белогорье) установлено, что песок меняет форму транспорта в зависимости от фазы водного режима. В этом смысле среди песчаных фракций наибольшая изменчивость формы транспорта присуща частицам фракции крупнозернистого (0,5-1,0 мм) песка, в меньшей степени – среднезернистого (0,25-0,5 мм) песка (рис. 1Б). В межень в составе донных наносов доля частиц крупного песка превышает все остальные песчаные фракции вместе взятые. В паводок их содержание на дне снижается и увеличивается в составе взвеси в разы, примерно одинаково. Доля частиц среднезернистого песка от межени к паводку растет не так интенсивно. На дне их содержание увеличивается на первые проценты, а во взвеси более заметно – с 5-6 % до 11-12 %. Содержание более мелких фракций песка в межень и паводок практически не меняется: около 10 % во взвеси и около 1-2 % в составе донных наносов (рис. 1Б).

Таким образом, среди песчаных наносов наиболее часто меняют форму транспорта (в результате изменений водного режима) частицы фракций крупнозернистого, несколько в меньшей степени среднезернистого песка. Как правило, частицы этих фракций транспортируются во взвеси только в период паводков, а в условиях межени

Руслообразующий аллювий реки Амур в среднем течении: состав, свойства, особенности распределения на участке от устья реки Зея до Хинганского ущелья

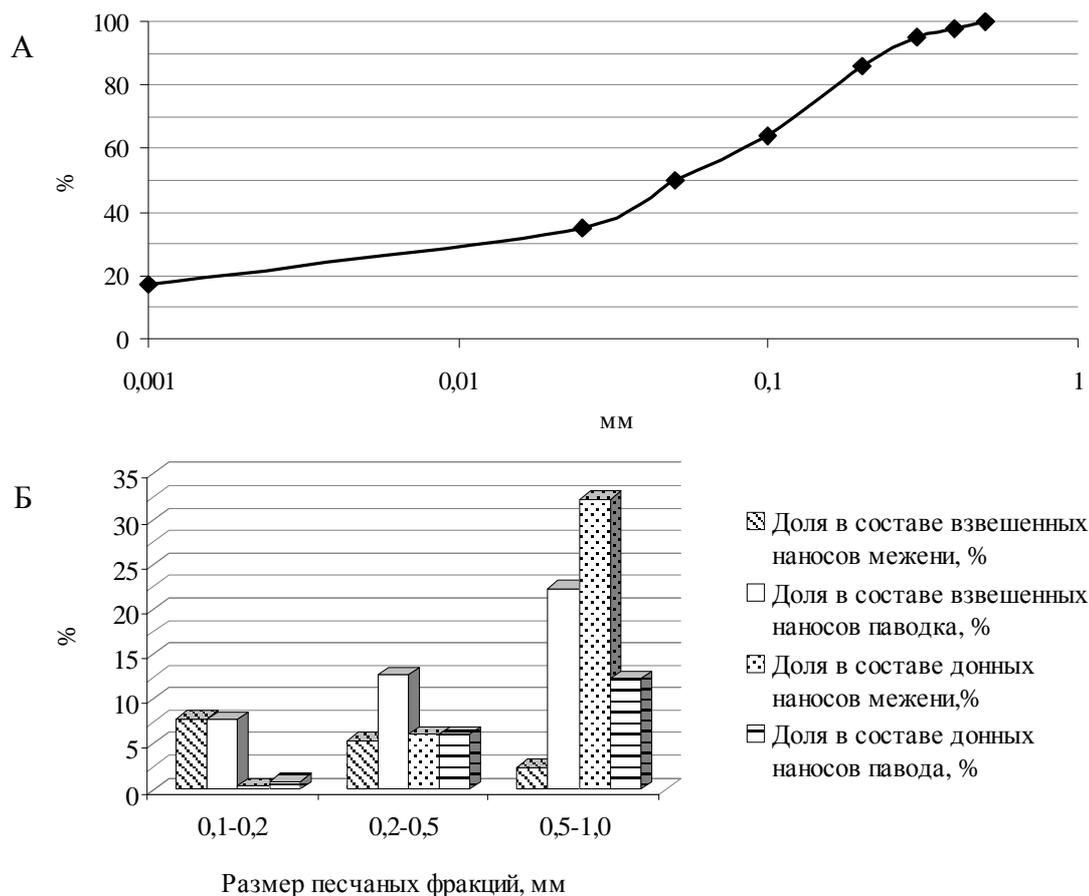


Рис. 1. Характеристика взвешенных наносов реки Амур (по данным [16]): А – осредненный гранулометрический состав, п. Гродеково; Б – динамические свойства, п. Белогорье

большая их часть переходит в состав донных наносов. Повышенное содержание песка во взвеси в период паводков объясняет сравнительно крупный механический состав пойменной фации аллювия, слагающего с поверхности пойменные массивы. Явным свидетельством этого служат свежие песчаные отложения паводка 2013 года, особенно отчетливо обнаруживающие себя в прирусловой части поймы (относительной высотой более 5 м), чехлом (мощностью до 20-30 см) погребаяющие исходный рельеф с хорошо развитыми почвами. При этом пониженная мутность рек (среднегодовая 50-100 г/м<sup>3</sup>, в холодный период – не более 10-20 г/м<sup>3</sup> [16]) амурского бассейна ограничивает участие взвешенных наносов в формировании форм руслового рельефа.

Механический состав руслообразующего аллювия реки Амур разнообразен: от илистых частиц до валунов в зависимости от сочетания местных условий, определяющих особенности скоростного режима водотока. Наиболее крупный материал залегают на поверхности русловых форм, формируя отмостку русла. Ее слагают преимуще-

ственно галька (от мелкой до крупной), реже мелкие валуны (на гребнях побочной), а местами единичные глыбы. Средний диаметр частиц отмостки – 32,7 мм, что соответствует средней гальке; вдоль реки его значение изменяется от 19,8 до 42,1 мм.

Залегающий под отмосткой материал мельче в среднем на 45 % (от 25 % до 70 %). Он представлен смесью из гальки, гравия и песка; более мелкие частицы не превышают первых процентов. И хотя гранулометрический состав этой смеси в целом весьма постоянен (форма кривых гранулометрического состава практически однотипна), соотношения основных фракций, их доли от места к месту заметно варьируют; все многообразие механических структур сводится к 4 основным типам (рис. 2).

Почти половина (48,8 %) всех анализируемых образцов характеризуется бимодальным распределением частиц (тип I, рис. 2) с контрастным выделением двух фракций: существенно крупных (галечниковых) и существенно мелких (песчаных), с незначительным (<10 %) содержанием других фракций. Подобная структура аллювия свидетель-

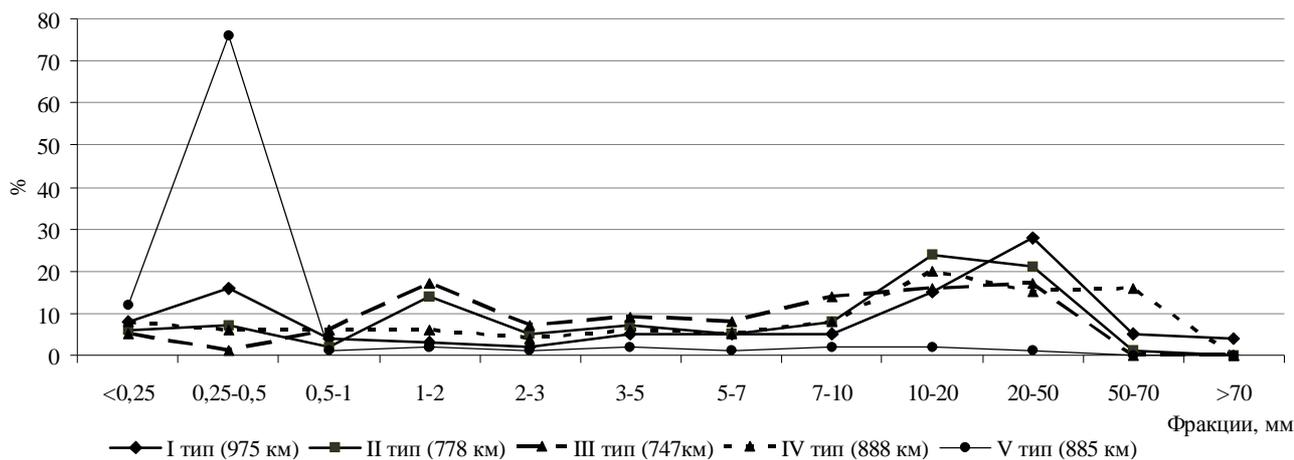


Рис. 2. Основные разновидности структур руслового аллювия

ствует о доминировании двух порядков скоростного режима, соответствующих руслоформирующим расходам воды, проходящих при затопленной пойме (высоком паводке) и затопленных прибрежных бечевниках (до выхода воды на пойму). Производное от I типа – распределение, условно именуемое двухфракционным (тип II, рис. 2). Оно представлено в 14 % проб. В 18,6 % проб отмечается распределение по III типу (рис. 2), свидетельствующее о сравнительно плохой сортировке аллювия, участии скоростного режима широкого спектра. Распределения с доминированием какой-то одной фракции (или нескольких смежных фракций) соответствуют IV типу (для гальки – 16,3 %) и V типу (для песка – 2,3 %) (рис. 2). Подобная структура аллювия свойственна участкам русла, которые характеризуются относительно стабильным скоростным режимом водотока или наличием постоянного источника дополнительного объема наносов определенной фракции.

На всем протяжении реки, за исключением отдельных участков, в составе аллювиальной толщи доминируют галечниковые фракции (рис. 3). Их доля редко опускается ниже 45-50 % (в среднем 46 %), чаще превышает ее. Содержание гравия более изменчиво: от 15-20 % до 30-40 % (редко более). Галька и гравий вместе занимают более 3/4 всего объема аллювиальной смеси, формируя ее каркас. В роли заполнителя, как правило, выступает песок (с примесью алеврита не более первых %), суммарная доля которого относительно постоянна вдоль реки – в среднем 23 %. Повышенное содержание (30 % и более) песка отмечено в единичных пробах, отобранных либо ниже интенсивно размываемых высоких (до 50-100 м) и крутых (> 15-20°) правобережных береговых откосов,

выработанных в песчаной толще неоген-раннечетвертичного (N-Q<sub>1</sub>) возраста (751 км, 733-738 км), либо на участках интенсивных размывов крупных островных массивов (871-860 км, 660-630 км), с поверхности сложенных преимущественно песком.

В отличие от песка содержание гальки и особенно гравия в составе аллювиальной смеси вдоль реки более изменчиво. При этом изменения в поведении содержания гальки и гравия хотя и синхронны относительно друг друга, но противоположны по направленности (рис. 3). Следовательно, структура аллювия, в первую очередь, определяется соотношением гальки и гравия – основных составляющих руслообразующего аллювия. В целом поведение галечной фракции в составе смеси напоминает волну с гребнями по краям рассматриваемого участка (980-926 км и 610-583 км) и в его середине (840-751 км, в меньшей степени – 680-672 км). В их пределах водоток формирует соответственно относительно прямолинейное и изогнутое (преимущественно сегментные пологие излучины) русла (в классификации МГУ). Содержание гальки в составе аллювия здесь повышенное, при сравнительно небольшой доле гравийных и песчаных фракций (рис. 3). Ложбинам волны (926-853 км, 672-625 км) в природе соответствуют разветвленные, разветвленно-извилистые русла, реже (780-770 км) – излучины. Для них характерна иная структура аллювия: существенно возрастает доля гравия при одновременном снижении доли гальки (до паритетных значений с гравием, реже – ниже) и относительно неизменном объеме песка; в единичных пробах гравий уступает первенство песку (рис. 3).

Мерой сортированности (однородности) аллювия выступает показатель ( $S_d$ ) относительной эн-

Руслообразующий аллювий реки Амур в среднем течении: состав, свойства, особенности распределения на участке от устья реки Зея до Хинганского ущелья

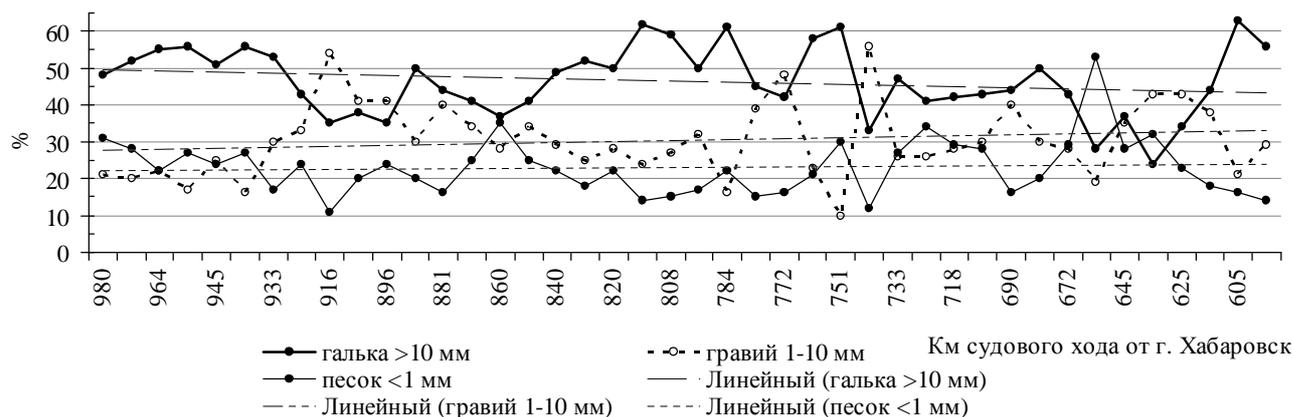


Рис. 3. Характер изменений содержания песка, гравия и гальки в составе руслообразующего аллювия вдоль реки Амур

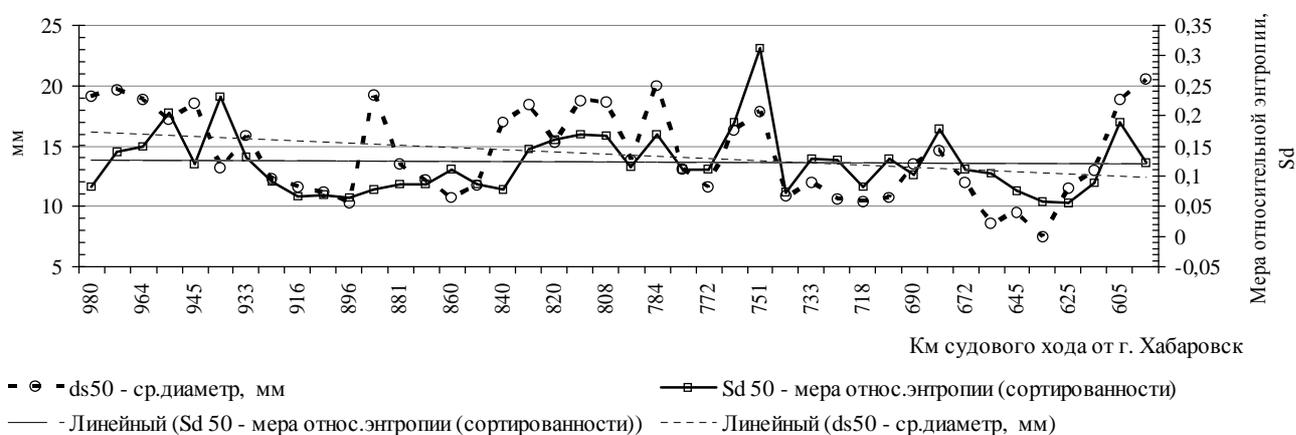


Рис. 4. Характер изменения относительной сортированности и среднего диаметра аллювия вдоль реки Амур

ропии [15]: чем выше показатель  $S_d$ , тем однороднее аллювий. Для реки Амур его значения невелики и непостоянны по ее длине (рис. 4), что обусловлено сравнительно частыми изменениями внутренних свойств водотока и условий его функционирования. Вдоль по реке характер изменения сортированности аллювия во многом совпадает с поведением его средней крупности, отличаясь лишь местами в силу некоторых особенностей в работе реки. Например, на участке 980-938 км (рис. 4) характер изменений сортированности противоположен поведению крупности наносов, что свидетельствует о чрезвычайно неустановившемся водном и скоростном режиме единого водотока, наследующего во многом и без того чрезвычайно контрастные свойства двух сливающихся рек: Амура и Зеи. Это влияние распространяется на весь 42-х км участок от узла их слияния, где руслоформирование осуществляется по типу относительно прямолинейного русла (в классификации МГУ).

В целом же показатель сортированности аллювия обладает слабо выраженным снижением по

длине. Это может быть следствием возрастания степени неравномерности стока в направлении к Хинганскому ущелью, а с ней – неравномерности транспортирующей способности водотока, или увеличения роли источников грубообломочного материала в формировании ДРД и русла. С учетом факта направленного улучшения окатанности (с 2,0 до 2,5 баллов) галечного материала по длине реки роль поступлений грубообломочного материала вряд ли может рассматриваться в качестве решающей причины, обеспечивающей направленное снижение сортированности аллювия. Поэтому характер изменения неоднородности аллювия предпочтительнее связывать с ростом неравномерности стока по длине реки.

Общий тренд основных механических составляющих аллювия свидетельствует о постепенном снижении в составе смеси содержания гальки и росте (примерно на ту же величину) содержания гравия при практически постоянном объеме песка (рис. 3). Подобные изменения могут быть обусловлены либо гидравлической сортировкой аллю-

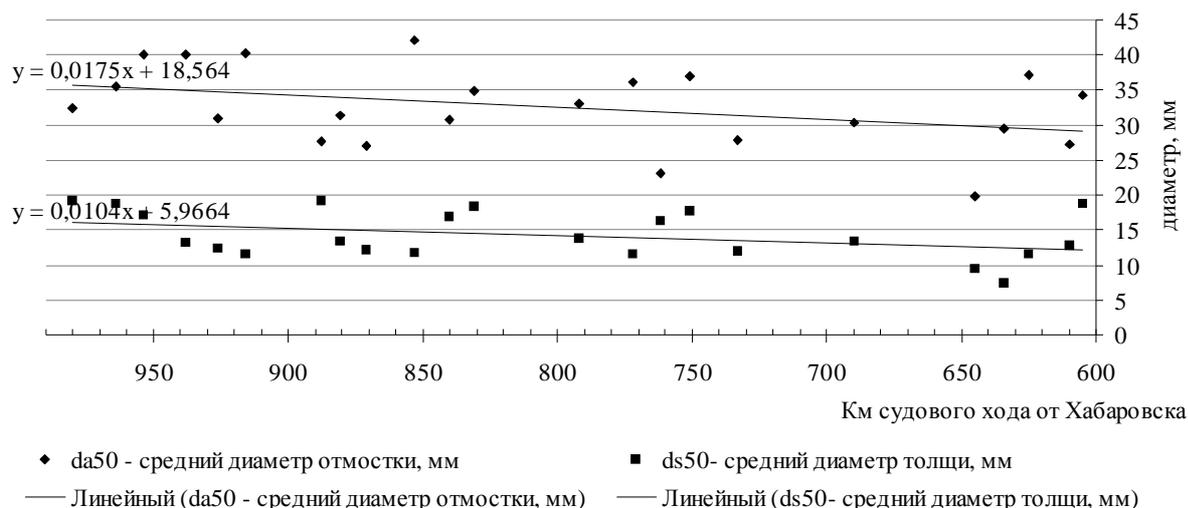


Рис. 5. Характер изменений среднего диаметра частиц отмытки и аллювиальной толщи вдоль по реке Амур

вия (вызванной снижением скоростей течения по мере выполаживания продольного профиля реки), либо истиранием обломков в ходе их транспорта. Роль склонов, как поставщиков грубообломочного материала, определяющая в главном общую структуру руслообразующего аллювия и тренд ее изменений вдоль реки, весьма ограничена: коренные борта долины в верхней половине рассматриваемого участка располагаются далеко (несколько км) от русла. Их влияние на структуру наносов проявляется ниже по реке, когда коренные склоны спорадически подступают вплотную к руслу. Однако это влияние по своей направленности противоположно выявленному общему тренду изменения структуры аллювия – уменьшению средней крупности – и имеет исключительно локальный характер.

Тесной корреляционной связи между уклоном в бытовых условиях и средним диаметром аллювиальной толщи, не обнаруживается (коэффициент корреляции  $r = 0,17$ ), что, на первый взгляд, исключает решающую роль гидравлической сортировки в направленном уменьшении содержания гальки и росте доли гравия в составе смеси. Тогда следует признать, что структурные изменения руслообразующего аллювия во многом предопределены истиранием обломков в ходе транспортировки, сопровождающимся постепенным переходом их из одного размерного ряда (гальки) в состав более мелких (гравийных) фракций. О механическом измельчении обломков, как основной причине выявленных изменений в структуре аллювия, свидетельствует, как отмечено выше, и факт улучшения окатанности гальки вниз по реке.

Наилучшая окатанность (до 3 баллов, в среднем 2,3 балла) присуща окварцованным и кремневым обломкам, несколько хуже окатаны обломки эффузивов (2,1-2,2 балла), наименее окатаны интрузивные породы – преимущественно граниты (2,1 балла). Обломки осадочных пород (аргиллит, алевролит, песчаник) в аллювиальной смеси, хотя и единичны (не более 5-7%), характеризуются максимально высокой окатанностью (до 3-4 баллов) и большой долей битых разностей. Основным их источником могут служить остатки древних аллювиальных отложений, местами (на унаследованных участках русла) размываемые водотоком в ходе его врезания в подстилающие породы. Это тем более вероятно, если учитывать, что осадочные породы в коренном залегании в речной долине и прилегающей к ней территории практически отсутствуют, а сами обломки характеризуются слабой устойчивостью к длительным перемещениям водотоком.

Относительно слабое проявление в структуре аллювия гидравлической сортировки обусловлено сравнительно слабо меняющимися уклонами вдоль реки и, наоборот, сравнительно частыми изменениями внешних (по отношению к водотоку) условий (прежде всего, геологических, геоморфологических), которые затушевывают результаты проявления внутренних свойств водотока. Между тем, роль гидравлической сортировки весьма значительна, находит отчетливое проявление в своеобразии строения отмытки и залегающей под ней толщи: изменения вдоль реки средних диаметров частиц отмытки  $d_{a50}$  и частиц аллювиальной толщи  $d_{s50}$  аппроксимируются наклонными прямыми,

Руслообразующий аллювий реки Амур в среднем течении: состав, свойства, особенности распределения на участке от устья реки Зей до Хинганского ущелья

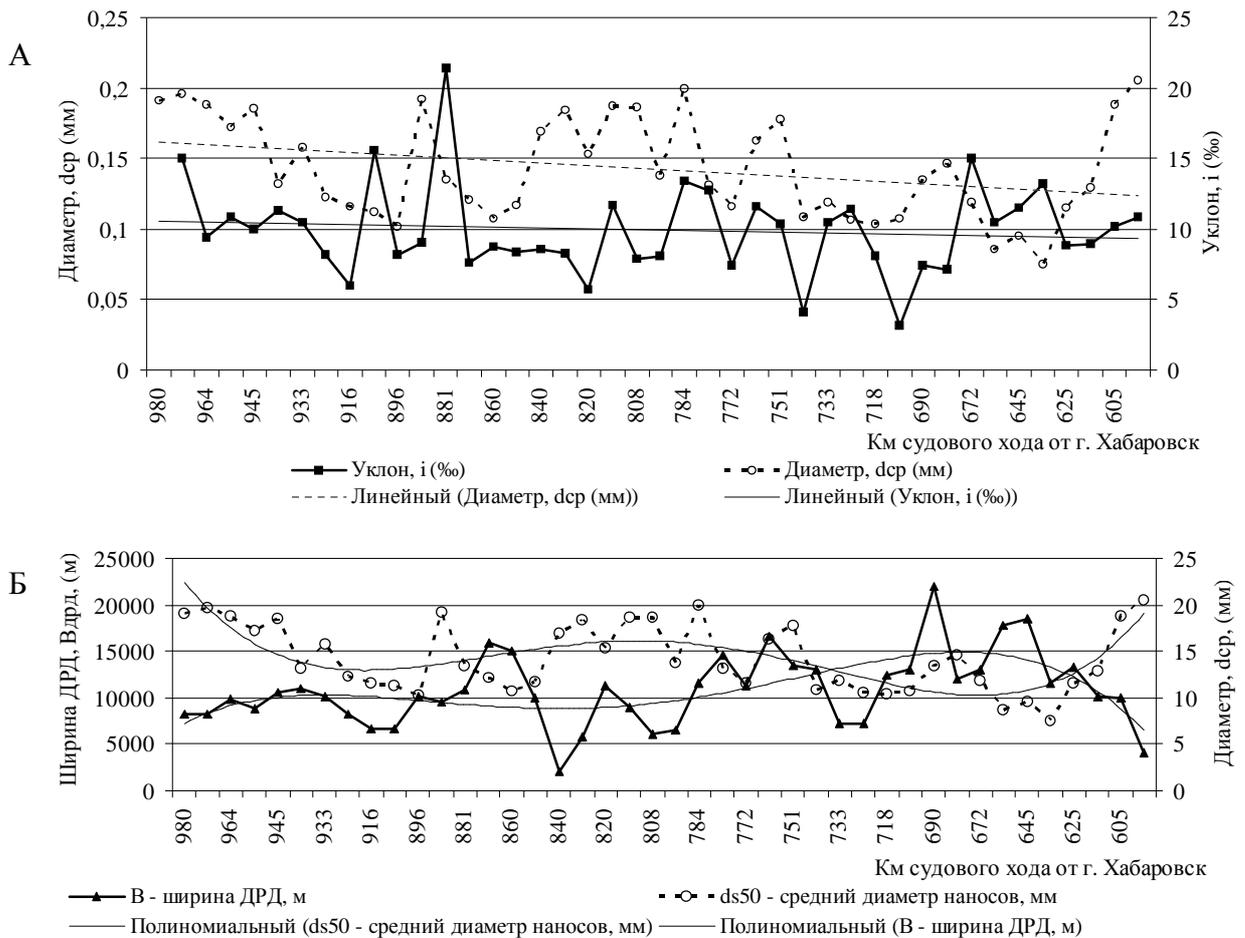


Рис. 6. Характер распределения среднего диаметра ( $d_{s50}$ ) руслообразующего аллювия реки Амур и изменений по ее длине: А – уклона продольного профиля водотока (при бытовых уровнях), Б – ширины дна долины ( $B_{дрд}$ ) реки Амур

отличающимися друг от друга величинами угловых коэффициентов:  $-0,0175$  и  $-0,0104$  соответственно (рис. 5). Т.е. средний диаметр частиц отмытки вниз по течению закономерно теряет 4,85 %, а средний диаметр частиц толщи донных наносов – 8 % на каждые 100 км, и величина отношения  $d_{a50} / d_{s50}$  на протяжении 400 км вниз по реке закономерно увеличивается от 2,0-2,2 до 2,5-2,6. Это свидетельствует о едином механизме формирования аллювия, в котором ведущая роль в дифференциации наносов по вертикали принадлежит исключительно внутренним свойствам водотока.

Участие внутренних свойств водотока в сортировке аллювия по длине реки (в сравнении с его вертикальной сортировкой) проявляется менее отчетливо. На первый взгляд, тесной связи между уклоном реки ( $i$ ) и средним диаметром аллювия ( $d_{s50}$ ) не обнаруживается (рис. 6А): коэффициент корреляции  $r = 0,17$ ; характер изменений  $d_{s50}$  представлен в виде ломаной линии. Однако на тесную связь между ними указывают синхронные тренды

изменений по длине водотока среднего диаметра наносов и уклонов продольного профиля. Они идентичны по направленности изменений и почти равны по величине потери ( $-19\%$ ) своих исходных значений по длине.

Слабое проявление внутренних свойств водотока в сортировке аллювия по длине реки во многом обусловлено влиянием со стороны внешних условий (морфометрические параметры русла и ДРД, притоки, поступления обломочного материала в результате интенсивных размывов береговых откосов и с бортов долины), сравнительно частые изменения которых вуалируют проявление внутренних свойств водотока.

Большее влияние на характер распределения  $d_{s50}$  оказывают изменения ширины дна долины ( $B_{дрд}$ ) (рис. 6Б), нежели изменения ширины русла. Скорее всего, это связано с тем, что максимальную работу по транспорту наносов водоток совершает в условиях высоких паводков, когда он обладает повышенной транспортирующей способнос-

тью. Возможно, на это оказывает влияние и широкомасштабные мероприятия по укреплению берегов и защите прилегающих территорий правобережья от затоплений [8].

Итак, состав руслообразующего аллювия реки Амур (от устья реки Зея до Хинганского ущелья) определяют, главным образом, влекомые наносы, слагающие все разнообразие русловых форм. Рельефообразующая роль взвешенных наносов состоит преимущественно в их высвобождении из транспорта в пределах пойменных массивов (в период паводков) и формировании пойменной фации аллювия; основная часть взвешенных наносов транзитом выносятся за пределы исследуемого участка реки.

В структурном отношении каркас руслообразующего аллювия образуют галечниковые и гравийные фракции (в среднем 46 % и 31 % соответственно). Песчаные фракции (в среднем 23 %), как правило, исполняют подчиненную роль заполнителя. В этой связи преобладающий тип руслообразующих наносов следует трактовать, как песчано-гравийно-галечный или, в соответствии с его средней крупностью ( $d_{s50} = 14,3$  мм), как мелкогалечный. Заполнитель в составе руслообразующего аллювия представлен, преимущественно, крупными фракциями песка (0,25-1,0 мм), способного перемещаться как по дну, так и во взвеси (в паводки), что свидетельствует о повышенной неравномерности стока.

Относительно большая доля гравийных фракций в структуре руслообразующего аллювия реки Амур – особое свойство стока наносов в ее среднем течении, которое не характерно для аналогичных участков крупных рек Сибири и Европейской части России. Гравий в составе руслообразующих наносов других рек, как правило, присутствует в виде небольшой примеси [14], что обусловлено его интенсивным биохимическим выветриванием, активно проявляющимся в субаквальных условиях речной сети России [9]. Данное свойство руслообразующего аллювия реки Амур косвенно свидетельствует об иных, менее агрессивных (по отношению к аллювию) биохимических условиях (о сравнительно низкой биохимической активности микроорганизмов) рек Приамурья по сравнению с реками других регионов РФ. Данный аспект проблемы формирования аллювия во многом – предмет региональных микробиологических исследований, требующий самостоятельного изучения.

Ведущая роль в распределении руслообразующего аллювия по длине принадлежит внутрен-

ним свойствам водотока, зависящим, в первую очередь, от уклона продольного профиля реки. Однако четкой связи между крупностью аллювия и уклонами (в бытовых условиях) водотока не наблюдается, что обусловлено влиянием на распределение наносов изменений со стороны внешних условий, которые вуалируют проявления гидравлической сортировки. Наибольшие возмущения в закономерное монотонное уменьшение крупности аллювия вниз по реке вносят высокоамплитудные изменения (от 5-7 до 20-23 км) ширины ДРД, в меньшей степени – местные источники наносов.

**Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН (проект 15-I-6-28).**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей / Ю. А. Билибин. 2-е изд. – Москва : Издательство АН СССР, 1955. – 472 с.
2. Воскресенский С. С. Геоморфология россыпей / С. С. Воскресенский. – Москва : Издательство Московского университета, 1985. – 208 с.
3. Геоморфологическое картирование для народнохозяйственных целей. – Москва : Издательство МГУ, 1987. – 238 с.
4. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1984 г. – Обнинск, ВНИИГМИ – МЦД, 1986. – Т. I : РСФСР, вып. 19 : Бассейны Амура (без Шилки, Аргуни, Усури, Амазара) и Уды. – 256 с.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1986. – Т. 1 : РСФСР, вып. 19 : Бассейны Амура (без Шилки, Аргуни, Усури, Амазара) и Уды. – 415 с.
6. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1979. – Т. 18 : Дальний Восток, вып. 1 : Верхний и Средний Амур. – 264 с.
7. Гусев М. Н. Морфодинамика днища долины Верхнего Амура / М. Н. Гусев. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 232 с.
8. Гусев М. Н. Формирование днища долины реки Амур на участке от устья реки Зея до Хинганского ущелья / М. Н. Гусев, Ю. В. Помигуев // География и природные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 121-129.
9. Добровольская Н. Г. О роли механического и биохимического выветривания в формировании стока руслового аллювия / Н. Г. Добровольская, Р. В. Лодина, Р. С. Чалов // Геоморфология. – 1991. – № 1. – С. 59-64.
10. Лебедева Н. В. Изменение гранулометрического состава современного руслового аллювия вниз по течению равнинной реки (на примере р. Вычегды) / Н. В. Лебедева // Литология и полезные ископаемые. – 1966. – № 5. – С. 37-44.

11. Ликотов Е. Ю. Связи и взаимодействия как участники рельефообразования / Е. Ю. Ликотов // Вестник Тюменского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2012. – № 7. – С. 113-121.
12. Лодина Р. В. Руслообразующие наносы на реках Северной Евразии / Р. В. Лодина // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 1993. – № 6. – С. 58-64.
13. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. / Н. И. Маккавеев [переиздание книги 1955 г.]. – Москва : Географический факультет МГУ, 2003. – 355 с.
14. Маккавеев Н. И. Русловые процессы / Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1986. – 264 с.
15. Математические методы в географии: учебник. – Казань : Издательство Казанского университета, 1976. – 352 с.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1966. – Т. 18 : Дальний Восток, вып. 1 : Верхний и Средний Амур (от истоков до с. Помпеевка). – 781 с.
17. Руководство по изучению новейших отложений / под ред. П. А. Каплина. 2-е изд. – Москва: Издательство Московского университета, 1987. – 238 с.
18. Самнер Г. Математика для географов / Г. Самнер [перевод с англ. И. М. Зейдиса, ред. и предисловие Ю. Г. Симонова]. – Москва : Издательство Прогресс, 1981. – 296 с.
19. Совместная Российско-Китайская схема комплексного использования водных ресурсов пограничных участков рек Аргунь и Амур. – Москва-Чанчжуань : Совинтервод, Сунляокомводхоз, 1998. – Том 5 : Климат и гидрология. – 227 с.
20. Схема комплексного использования водных ресурсов пограничных участков рек Аргунь и Амур. Совместный краткий доклад. – Москва-Чанчунь : Совинтервод, Сунляокомводхоз, 1993. – Т. V : Климат и гидрология.
21. Схема комплексного использования водных ресурсов пограничных участков рек Аргунь, Амур. Технический отчет по инженерно-гидрологическим изысканиям за 1989 г. Пояснительная записка. – Москва : Всесоюзное объединение Союзводпроект, Союзгипроводхоз (Курганский филиал), 1990. – 343 с.
22. Чалов Р. С. Русловые исследования (избранные главы по курсу «Водохозяйственные изыскания»): учебное пособие / Р. С. Чалов. – Москва : Издательство Московского университета, 1995. – 106 с.
23. Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований / Е. В. Шанцер // Труды ГИН АН СССР. – Москва : Наука, 1966. – Вып. 161. – 240 с.
2. Voskresenskiy S. S. Geomorfologiya rossypey / S. S. Voskresenskiy. – Moskva : Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1985. – 208 s.
3. Geomorfologicheskoe kartirovanie dlya narodokhozyaystvennykh tseley. – Moskva : Izdatel'stvo MGU, 1987. – 238 s.
4. Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi, 1984 g. – Obninsk, VNIIGMI - MTsD, 1986. – Т. I : RSFSR, vyp. 19 : Basseyny Amura (bez Shilki, Arguni, Ussuri, Amazara) i Udy. – 256 s.
5. Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1986. – Т. 1 : RSFSR, vyp. 19 : Basseyny Amura (bez Shilki, Arguni, Ussuri, Amazara) i Udy. – 415 s.
6. Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1979. – Т. 18 : Dal'niy Vostok, vyp. 1 : Verkhniy i Sredniy Amur. – 264 s.
7. Gusev M. N. Morfodinamika dnishcha doliny Verkhnego Amura / M. N. Gusev. – Vladivostok : Dal'nauka, 2002. – 232 s.
8. Gusev M. N. Formirovanie dnishcha doliny reki Amur na uchastke ot ust'ya reki Zeya do Khinganskogo ushchel'ya / M. N. Gusev, Yu. V. Pomiguyev // Geografiya i prirodnye resursy. – 2013. – № 4. – S. 121-129.
9. Dobrovol'skaya N. G. O roli mekhanicheskogo i biokhimicheskogo vyvetrivaniya v formirovanii stoka ruslogogo allyuviya / N. G. Dobrovol'skaya, R. V. Lodina, R. S. Chalov // Geomorfologiya. – 1991. – № 1. – S. 59-64.
10. Lebedeva N. V. Izmenenie granulometricheskogo sostava sovremennogo ruslogogo allyuviya v niz po techeniyu ravninnoy reki (na primere r. Vychehdy) / N. V. Lebedeva // Litologiya i poleznye iskopaemye. – 1966. – № 5. – S. 37-44.
11. Likotov E. Yu. Svyazi i vzaimodeystviya kak uchastniki rel'efoobrazovaniya / E. Yu. Likotov // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle. – 2012. – № 7. – S. 113-121.
12. Lodina R. V. Rusloobrazuyushchie nanosy na rekakh Severnoy Evrazii / R. V. Lodina // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya. – 1993. – № 6. – S. 58-64.
13. Makkaveev N. I. Ruslo reki i eroziya v ee basseyne. / N. I. Makkaveev [pereizdanie knigi 1955 g.]. – Moskva : Geograficheskii fakul'tet MGU, 2003. – 355 s.
14. Makkaveev N. I. Ruslovyie protsessy / N. I. Makkaveev, R. S. Chalov. – Moskva : Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta, 1986. – 264 s.
15. Matematicheskie metody v geografii: uchebnik. – Kazan' : Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 1976. – 352 s.
16. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1966. – Т. 18 : Dal'niy Vostok, vyp. 1 : Verkhniy i Sredniy Amur (ot istokov do s. Pompeevka). – 781 s.

#### REFERENCES

1. Bilibin Yu. A. Osnovy geologii rossypey / Yu. A. Bilibin. 2-e izd. – Moskva : Izdatel'stvo AN SSSR, 1955. – 472 s.

17. Rukovodstvo po izucheniyu noveyshikh otlozheniy / pod red. P. A. Kaplina. 2-e izd. – Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1987. – 238 s.

18. Samner G. Matematika dlya geografov / G. Samner [perevod s angl. I. M. Zeydisa, red. i predislovie Yu. G. Simonova]. – Moskva : Izdatel'stvo Progress, 1981. – 296 s.

19. Sovmestnaya Rossiysko-Kitayskaya skhema kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov pogranichnykh uchastkov rek Argun' i Amur. – Moskva-Chanchzhuan' : Sovintervod, Sunlyaokomvodkhoz, 1998. – Tom 5 : Klimat i gidrologiya. – 227 s.

20. Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov pogranichnykh uchastkov rek Argun' i Amur. Sovmestnyy kratkiy doklad. – Moskva-Chan'chun' : Sovin-

tervod, Sun'lyaokomvodkhoz, 1993. – T. V : Klimat i gidrologiya.

21. Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov pogranichnykh uchastkov rek Argun', Amur. Tekhnicheskii otchet po inzhenerno-gidrologicheskim izyskaniyam za 1989 g. Poyasnitel'naya zapiska. – Moskva : Vsesoyuznoe ob"edinenie Soyuzvodproekt, Soyuzgiprovodkhoz (Kurganskiy filial), 1990. – 343 s.

22. Chalov R. S. Ruslovye issledovaniya (izbrannye glavy po kursu «Vodokhozyaystvennye izyskaniya»): uchebnoe posobie / R. S. Chalov. – Moskva : Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1995. – 106 s.

23. Shantser E. V. Ocherki ucheniya o geneticheskikh tipakh kontinental'nykh osadochnykh obrazovaniy / E. V. Shantser // Trudy GIN AN SSSR. – Moskva : Nauka, 1966. – Vyp. 161. – 240 s.

Гусев Михаил Николаевич  
кандидат географических наук, доцент, заведующий лабораторией геоэкологии Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, г. Благовещенск, т. 84162225331, E-mail: [gusevm@list.ru](mailto:gusevm@list.ru)

Помигуев Юрий Васильевич  
научный сотрудник лаборатории Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, г. Благовещенск, т. 84162225335, E-mail: [pmgv@bk.ru](mailto:pmgv@bk.ru)

Gusev Mikhail Nikolayevitch  
PhD in Geography, Associate Professor, Head of Geoecology Laboratory of the Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, E-mail: [gusevm@list.ru](mailto:gusevm@list.ru)

Pomiguev Yuriy Vasil'yevitch  
Researcher of Geoecology Laboratory of the Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, E-mail: [pmgv@bk.ru](mailto:pmgv@bk.ru)