

**ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТОК
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В РЕКАХ**

Аллювиальные россыпные месторождения тяжелых минералов занимают большие площади и тяготеют к зонам распространения рудной минерализации. В зависимости от сочетаний размеров их площадей с порядком водотоков в речных бассейнах образуются разные типы месторождений аллювиальных россыпей: поля, узлы, ленточные залежи. Эти территории, благодаря разработкам россыпей, подвергаются усиленному антропогенному прессу, особенно при дражных отработках. С развитием последних антропогенные преобразования долинных экосистем в россыпных районах происходят с такой интенсивностью, что в настоящее время возникли совершенно новые ландшафты, в которых нарушены как их компоненты, так и связи между ними, свойственные природным долинным системам. Среди этих компонентов наиболее сильно изменению подвергается деятельность русловых потоков, одного из основных агентов формирования экосистем речных долин.

В прошлом при отработках россыпей не ставился вопрос об экологических последствиях, ими вызываемых. В последнее время эта проблема начала привлекать внимание, но в основном с точки зрения рекультивации речных долин, загрязнения вод рек и водоемов и способов снижения его уровня. Применительно к решению этих вопросов создаются руководства и инструкции, однако в них уделяется мало внимания непосредственно руслам рек, особенно изменению режима и эволюции русловых процессов, претерпеваемых при разработке россыпей.

В настоящей статье делается попытка восполнить этот пробел и оценить на примере старопромышленных россыпных районов (Алданского, Ленского) степень пораженности русловых процессов в результате отработок россыпей преимущественно дражным способом. Начало использования последнего по этим районам относится к первым десятилетиям XX века. При оценке влияния отработки россыпей на русловые процессы возникают два аспекта исследований: а) выявление этих последствий в отдельных звеньях россыпесодержащего бассейна; б) учет изменений экологических условий и негативных последствий в нижерасположенных звеньях в результате трансформации русловых процессов в низких звеньях того же речного бассейна.

В первом случае важно представлять механизм формирования россыпей и оценивать роль в нем руслового потока, его режим, которые определяют тип русла и особенности накопления и транспорта наносов и вместе с ним частиц тяжелых минералов, образующих россыпи и являющихся составной частью наносов.

Проведенные исследования показали, что распределение россыпей, их обогащенность и протяженность, наряду с положением коренных источников, зависят от типов русел долин разных порядков. Таким образом, приуроченность россыпей к руслам разного типа может служить и косвенным показателем их богатства, и возможной степени их поражения антропогенным воздействием. За основу типизации русел горных и полугорных долин была принята классификация Р. С. Чалова [1].

Среди русел водотоков горного типа в долинах I—II порядков на долю россыпесодержащих приходится только ~ 10% от их общего числа. Они часто характеризуются относительно низкой продуктивностью. Основная масса частиц золота выносится в нижерасположенные звенья или накапливается в устьевых участках; россыпи здесь редко составляют более 0,2 длины водотока.

В руслах долин горного типа с развитыми русловыми формами II—III порядков создаются более благоприятные условия для формирования россыпей. Доля россыпесодержащих долин возрастает до 30—40%, россыпи занимают от 0,3 до 0,4 от длины долины, их продуктивность нередко, особенно в приустьевых зонах, достигает промышленных значений.

Наиболее богатые и значительные по размерам россыпи формируются в аллювии полугорных рек долин IV—VII порядков. Россыпи в них характеризуются значительной длиной, распространяясь нередко на всю долину. Так, протяженность известной уникальной россыпи долины р. Бодайбо в Ленском золотоносном районе составляет ~ 90 км при общей длине долины ~ 100 км. При благоприятной геолого-геоморфологической обстановке (наличие коренных источников, вынос металла из низких звеньев гидросети) практически во всех долинах этого типа формируются россыпи. Их продуктивность на порядок больше по сравнению с двумя другими типами. Таким образом, водотоки этого типа наиболее подвержены антропогенному прессу.

Степень вмешательства обработок россыпей в русловые процессы, помимо порядка водотока, предопределяется богатством россыпи и локальными особенностями распределений концентраций металла в продуктивном пласте. Последние создают его структуру и являются, как установлено в [2], результатом деятельности потока. В зависимости от механизма формирования они характеризуются различной продуктивностью.

Второй важный момент — технологический процесс обработки россыпей. Суть последней сводится к извлечению металла из россыпи на участке с повышенным обогащением, образованным в процессе формирования аллювия и являющимся составной частью генетических концентраций, в которых содержание отвечает требуемым кондициям. Выделение металла из большой массы рыхлых отложений достигается путем их промывки с помощью драги или других установок, работа которых обеспечивается строительством гидротехнических сооружений и большим объемом канавных горноподготовительных работ, проводимых на относительно большой площади в сфере деятельности русловых процессов, включая пойму. Воздействие обработок проявляется в трех направлениях: 1) изменении расходов воды в руслах и местоположения русел; потоки частично или целиком используются в процессе отмывки металла из аллювия или отводятся с целью осушения разрабатываемых участков; 2) трансформации, вплоть до уничтожения русел и других современных аллювиальных форм, созданных в ходе естественных процессов руслообразования; 3) нарушении в потоке естественного режима стока наносов.

Для промывки грунтов из основного потока или его притока отводится часть расходов воды, величина которых определяется мощностью промывочной установки. В случае небольших водотоков поток целиком проходит через нее. В результате ниже по течению нарушается русловый режим вплоть до осушения русла. После пропуска изъятая из естественного потока вода частично рассеивается и не восполняет потери. Обработка россыпей одновременно по нескольким притокам ведет к ощутимому уменьшению водности основного потока.

На состояние и положение естественного русла большое влияние оказывают водоотводные каналы. После прекращения работ такие каналы преобразуются в новые русла.

Русла рек при обработке россыпей являются наиболее уязвимым элементом ландшафта, поскольку наиболее богатые концентрации металла чаще всего приурочены к ним. Вдоль них закладываются карьеры с целью обработки россыпей. Параметры таких участков в значительной мере определяются особенностями распределения в них металла. Так, на прямолинейных неразветвленных участках русла россыпи обычно имеют форму узких струй с довольно выдержанными по длине концентрациями металла; карьеры закладываются по руслу, часто по всей длине россыпи. Масса грунта в карьере извлекается на всю мощность аллювия, вплоть до подстилающих скальных пород. В результате русло на отдель-

ных участках или по всей длине приобретает форму канала, возрастает ступенчатость профиля за счет чередования нарушенных и не затронутых обработкой участков.

На реках с разветвленным руслом карьеры закладываются по россыпям, приуроченным к отдельным рукавам, что приводит к перераспределению расходов воды. При этом поток из главного русла с приуроченной к нему более бедной россыпью может перейти в переуглубленное разработкой русло второстепенного рукава.

На участках меандрирующей реки, попадающих в контур дражного полигона, русло спрямляется по руслоотводному каналу.

В отличие от водотоков низких и средних порядков, в более высоких распределение участков повышенных концентраций металла по длине россыпи характеризуется большой мозаичностью. Они располагаются локально по длине долин и приурочены к местам подпитки основной долины за счет поступления металла из притоков, участков перемыва более древних металлоносных поверхностей и т. д. Именно к ним приурочены карьеры обработок, на месте которых полностью уничтожаются русловые формы.

Русло и пойма представляют единый комплекс, который развивается под влиянием стока воды и наносов, синхронно или асинхронно в разные по длительности интервалы времени. В связи с этим изменение русла под влиянием обработок нельзя рассматривать изолированно от процессов, происходящих на пойме. Те и другие в совокупности определяют особенности проявления эрозионно-аккумулятивных процессов.

По рекам, особенно более продуктивным — полугорным средних порядков, с целью осуществления технологических операций отчуждаются значительные площади поймы, подвергающиеся мероприятиям, связанным с подготовительными работами и созданием гидротехнических сооружений, обеспечивающих обработку россыпи. С точки зрения воздействия на пойму их можно подразделить на два типа нарушений ее поверхности в виде техногенных форм: а) отрицательных (канавы, руслоотводные каналы, отстойники и т. д.), б) положительных, включающих разного назначения дамбы и плотины (грунтоудерживающие, струенаправляющие и т. д.). Роль первых сводится к перераспределению основного потока и притоков по поверхности поймы на участке обработок полигона. Назначение дамб и плотин — обеспечение гидромеханической обработки россыпей. Их различная ориентировка по отношению к направлению естественного потока и создаваемого искусственно с целью обработки россыпи служит дополнительной причиной увеличения шероховатости поверхности поймы. Степень их влияния на поток определяется соотношением высоты дамб и уровней паводков, когда во время последних изменяется структура потока. Поскольку эти сооружения часто не ликвидируются после прекращения обработки россыпей, их воздействие продолжается и в последующее время.

Третья группа форм связана с одним из факторов, порождающих изменение гранулометрического состава наносов рек и их загрязнение на участке открытых обработок россыпей. Последнее проявляется при извлечении полезного компонента россыпи из огромной массы грунта, его дезинтеграции и сортировки по крупности, что сопровождается удалением горной массы в виде смеси, из твердой и жидкой составляющих. Первая из них классифицируется по градациям крупности: валуны, валунно-галечные отложения и более мелкие. Крупные складываются в виде отвалов на поверхности поймы, имеют разную форму и сложены разным по механическому составу материалом. В результате на дражных полигонах образуется техногенный рельеф, представленный отвалами, имеющими форму эллипсоидных конусов, из относительно крупного материала, и поверхностей, иногда с разной высотой, из более мелких частиц. Высота отвалов-конусов в зависимости от крупности перерабатываемой рыхлой толщи и мощности аллювия колеблется от нескольких метров по водотокам низких порядков

до более десятка метров на участках с полупогребенными россыпями. Поступающие с промывочных установок хвосты пульпы характеризуются большой мутностью, превышающей на несколько порядков содержание мелких фракций в реках с бытовым режимом. По данным Г. В. Зубченко и Г. А. Сулина [3], концентрация взвешенных веществ в промышленных сточных водах колеблется от 5 до 50 млн. мг/л. Мутность же рек, не затронутых горными работами, составляет в межень 0,5—1,0 мг/л. Мелкие фракции поступают в отстойники и выносятся в гидросеть. Мобилизации мелкой фракции, поступающей в русла рек, способствуют снятие почвенного покрова и ликвидация растительности на значительной территории проектируемых дражных отработок.

В старопромышленных районах обогащение потоков мелкоземом происходит также в результате перемыыва отвалов, размыва отложений отстойников в случае прорыва дамб. В зависимости от того, первично или вторично (иногда до нескольких раз) перерабатывался аллювий, при перемещении его по пойме или руслу изменяются особенности дифференциации по крупности перерабатываемой рыхлой толщи. При первичной отработке россыпей условно можно считать, что горизонтальная дифференциация обломочного материала преобладает над вертикальной. При неоднократной переработке россыпи и дражных отвалов «перелопачивается» вся рыхлая толща, что сопровождается увеличением ее сортированности по вертикальному разрезу по сравнению с первым случаем. При неоднократной отработке россыпи в днище долин рельеф, созданный потоком в бытовом состоянии, почти целиком заменяется на техногенный. Особенности морфологии последнего порождают специфические условия деятельности потока и изменения русла. Особенно это характерно для днищ долин водотоков средних порядков, многократно захваченных отработкой россыпей. Обычно на таких участках флювиальный рельеф заменяется холмисто-западинным, техногенным.

На первый взгляд он похож на водно-ледниковый. Однако при более тщательном анализе бросается в глаза характерная стандартизация параметров отдельных форм рельефа, их закономерное чередование, связанное с его техногенным генезисом. Хотя на таких участках могут встречаться отдельные формы, связанные с гидротехническими сооружениями, преобладает группа форм, обусловленная отработкой рыхлой металлоносной толщи. Среди них большую площадь составляют водоемы проточные или замкнутые — реликты отрицательных техногенных форм (карьеров, водозаборов, отстойников и т. п.) — следов неоднократной отработки россыпи. Эти формы чередуются с положительными того же генезиса, в виде конусов отвалов, дамб и т. п.

Водоемы-озера, расположенные в прирусловой части дна долины, нередко связаны протоками, образованными по русловодным каналам и канавам с основным потоком. Эта связь чаще осуществляется в паводок, в межень прекращается. В присклоновой части днища водоемы-озера служат аккумуляторами стока притоков. Сток притоков низких порядков нередко целиком поглощается озерами, в то время как сток притоков средних порядков, тоже впадающих в озеро, частично достигает основного потока. В отличие от русла, функционирующего здесь до отработок, образовавшееся в процессе эксплуатации месторождения русло характеризуется тенденцией к переходу к прямолинейному или слабоизвилистому. В зависимости от техногенного рельефа оно имеет сложную конфигурацию, приспособившаяся к его неровностям. В связи с этим по длине русла резко меняется его ширина — от узкого на участках канализации до озеравидно-расширенного, где оно наследует искусственные водоемы. Особенности конфигурации русла проявляются в наличии большого числа искусственно созданных затонин, к которым приурочены функционирующие по бывшей пойме протоки.

Казалось бы, что в результате отработок россыпи, когда поток насыщен большим количеством наносов, русло должно характеризоваться большой подвижностью. Отчасти с этим фактом связано наличие в нем большого числа островов, побочней, выступающих на поверхность в межень. В то же время, судя

по картам и планам отработок разных лет, скорости горизонтальных деформаций русла невелики, что связано как с канализацией русла на отдельных участках и ограничением его дамбами, так и «старостью» отвалов и дамб, часто уже освоенных растительностью. Однако основной причиной относительной стабильности является мерзлота. Она играет роль цемента, сковывая уплотняющийся с годами рыхлый материал горных отработок. По результатам наблюдений Н. Н. Мунгалова, за два зимних периода отвалы промерзают на глубину 7—8 м, а в дальнейшем — до уреза воды. По данным И. М. Иванова и Н. С. Шпака, за 30—50 лет в отвалах формируется вечная мерзлота, аналогичная естественной локально-островной, наблюдаемой в рыхлых и коренных породах района исследований.

Ширина мерзлотной зоны в долине коррелирует с шириной дна долины, нарушенного горными работами, а ее мощность в зависимости от высоты дражных отвалов меняется от 5 до 20 м. Отвалы из мелкозема промерзают до 2—11 м ниже уреза воды. О высокой прочности мерзлых рыхлых отложений свидетельствует тот факт, что при их отработке, так же как и при задрке скальных пород в карьерах, ломаются ковшевые механизмы.

Техногенные водоемы-озера способствуют изъятию из основного водотока части воды, которая заполняет в паводки эти емкости. Частично они заполняются также грунтовыми водами. Для ответа на вопрос, как влияют эти особенности отработок россыпей на днище долин IV—VI порядков, были проведены специальные расчеты. Выявлено соотношение площадей, занятых руслом и днищем в долинах IV—VI порядка Ленского района, на участках, не захваченных эксплуатацией, и на участках, подвергающихся отработкам. Установлено, что площадь, занятая современным руслом, в первом случае составляет от 3 до 10% от площади днища. Площадь водной поверхности искусственно созданных водоемов увеличивается в 3—10 раз по сравнению с руслом. Сюда входят площади озер, каналов и т. д., составляющих с техногенно-измененным руслом от 20 до 30%, а в отдельных случаях — до 40—50% площади днища долин.

На примере богатейшей отработанной россыпи р. Ныгри Ленского района проведен анализ изменения среднегодового паводочного расхода воды. К настоящему времени русло реки на всем протяжении техногенное. Площадь техногенных озер — водозаборов составляет 40—50%. Судя по изменениям расходов на г/п Кропоткин, расположенном в 9 км от устья, при обеспеченности 100% они равны 5—6 м³/с. Паводочный расход воды естественно для той же реки был рассчитан по формуле [4]

$$Q_{100\%} = q_{200} \times \left(\frac{200}{F}\right)^n \times \lambda_p \times F \times \delta_2,$$

где $q_{200} = 0,8$ — модуль максимального расхода воды ежегодного превышения, приведенный к площади водосбора; $n = 0,35$ — показатель степени редукции модуля максимального расхода; $\lambda_p = 0,22$ — переходный коэффициент от вероятности превышения $p = 1\%$ к вероятности 100%; F — площадь водосбора; δ_2 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода вследствие залесенности и заболоченности, рассчитываемый по формуле

$$\delta_2 = 1 - 0,8 \lg(1 + 0,05 f_n + 0,1 f_6),$$

где f_n — процент площади лесов; f_6 — процент площади болот; по топокартам м-ба 1 : 25 000 приняты равными:

$$f_n = 35\%; f_6 = 0\%. \delta_2 = 0,65.$$

Расчетный ежегодный паводочный расход по тому же створу оказался равным 20 м³/с, что в 2—3 раза превышает полученный по результатам измерений. Если в указанной формуле принять величину коэффициента δ_2 с учетом процента площади водного зеркала (f_6) в установленном диапазоне 40—50% на

анализируемом участке долины р. Ныгри, то расчетная величина максимума паводка при обеспеченности 100% уменьшится до 9 м³/с, т. е. будет сопоставима с фактическими данными.

Тот же порядок величин уменьшения расходов за счет техногенных разработок подтверждается результатами замеров расходов воды, определенных выше и ниже водозабора в верхнем течении р. Угахан (II порядок). Расходы воды в 1,4 км выше водозабора (3,49 м³/с) оказались почти в 2 раза выше по сравнению с участком ниже по течению. Таким образом, потеря расходов в связи с техногенными отработками составляет ~ 46%.

Уменьшение расходов воды рек, учитывая значительный период отработок россыпей, должно было сказаться на крупности наносов. С целью выявления тенденции ее изменения были проведены следующие расчеты. На основании данных о среднем паводочном расходе воды р. Ныгри в створе г/п Кропоткин $Q_{25-50\%} = 8-9$ м³/с (обеспеченность 25—50%) была рассчитана средняя крупность аллювия, который формировался в период техногенной отработки россыпи. С этой целью использовалась формула А. Н. Крошкина

$$d_{cp} = 1,61 \left(\frac{Q_{\phi}}{\sqrt{g}} \right)^{0,4} \cdot I^{0,9},$$

где Q_{ϕ} — руслоформирующий расход м³/с; I — уклон, ‰.

В формуле величина $Q_{25-50\%}$ среднего измеренного расхода воды принята за руслоформирующую. Средняя крупность аллювия для этого периода оказалась равной 25 см. По замерам ее в шурфах, вскрывающих современный аллювий, она равна 46 см, т. е. почти в 2 раза больше. Иными словами, в связи с уменьшением расходов воды в результате техногенных отработок происходит укрупнение состава аллювия и возрастает стабилизация русла. Причиной укрупнения формирующегося в процессе отработки аллювия является поступление в потоки более крупных обломков из низких продуктивных горизонтов базального аллювия и вымывание при дражной отработке мелких фракций. Их содержание в аллювии на участках техногенных отработок составляет на отрезках с большими уклонами 2—10%, а при их снижении — до 20, редко до 30%.

В погребенном аллювии, не затронутом отработкой, количество заполнителя (песчано-глинистого состава) колеблется в среднем от 30 до 40%, местами до 50%. «Промывистость» современного аллювия, несмотря на огромное количество мелкоземы, поступающего с подмываемых склонов при вскрышных и дражных работах, свидетельствует об интенсивном выносе мелкой фракции из долин в ниже расположенные звенья. Для обследованных россыпей таковыми являются реки Витим и Лена.

Результаты исследования свидетельствуют, что открытые отработки россыпей существенно влияют на русловые процессы на реках IV—VI порядков. Воздействие дражных отработок достигает предельного проявления в долинах с богатыми россыпями старопромышленных районов в случае неоднократной техногенной переработки их днищ и захватывает россыпесодержащие притоки. Это приводит к уменьшению, особенно в паводки, расходов воды в результате изъятия большой доли (до 40—50%) стока и заполнения техногенных водоемов, что сопровождается уменьшением транспортирующей способности руслового потока.

В таких условиях сток наносов обеспечивается обломочным материалом в результате расширения контакта потока с большими площадями складированного на пойме и в бывшем русле грунта — продукта отработки россыпей. При размыве и перемыве потоком происходит укрупнение состава аллювия, в том числе руслоформирующей фракции наносов, и повышение мутности за счет обогащения его мелкой фракцией до величины концентраций, свойственных селевым потокам. Следствием уменьшения расходов воды потока и увеличения крупности наносов является снижение интенсивности переформирования русла. Этот фактор в сочетании с уменьшением транспортирующей способности потока и

действием таких техногенных агентов, как обваловывание и канализация русел, также способствует уменьшению интенсивности русловых деформаций. При отработке россыпей по всей длине водотока возможна смена типов русел, свойственных естественным потокам, на техногенные.

В настоящее время, в связи с отсутствием специальных исследований для конкретных россыпных месторождений, трудно определить возможность и время восстановления естественных экосистем, в том числе и русловых процессов.

С уменьшением площади охвата долины и длительности отработок россыпей по речным бассейнам возможны различные варианты антропогенного пресса на них. При решении вопросов, связанных с прогнозом и восстановлением этих экосистем и русловых процессов, помимо указанных антропогенных факторов необходимо учитывать и естественные — такие, как механизм формирования разных типов русел и эволюция их развития по долинам разных порядков. Учет этих слабоизученных вопросов при планировании технологии отработки россыпей и рекультивации нарушенных земель является одним из путей сокращения вредного влияния на речные долины антропогенного фактора.

С особенностями развития русловых процессов в россыпесодержащих и отработываемых долинах тесно связан и второй аспект экологической проблемы, пока еще не затронутый исследованиями. Речь идет об изменении русловых процессов в долинах более высоких порядков, в которые впадают водотоки низких порядков с отработываемыми россыпями. Такие долины, хотя и не подвергаются непосредственно отработкам, испытывают изменения в особенностях проявления русловых процессов вследствие нарушения твердого и жидкого стока, вызываемого эксплуатацией россыпей притоков. В результате возникают проблемы с их использованием при судоходстве, рыбном хозяйстве и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
2. Хмелева Н. В., Виноградова О. В., Маорс Л. В. Генетические комплексы россыпесодержащего аллювия водотоков низких порядков и их морфогенез // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 9. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 110—118.
3. Зубченко Г. В., Сулин Г. А. Рациональное использование водно-земельных ресурсов при отработке россыпей. М.: Недра, 1980. 238 с.
4. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеониздат, 1972. 18 с.
5. Талмаза В. Ф., Крошкин А. Н. Гидроморфологические характеристики горных рек. Фрунзе: Киргизстан, 1968. 203 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
04.04.94

ON THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF ALLUVIAL PLACERS EXPLOITATION ON CHANNEL PROCESSES IN RIVERS

N. V. KHMELEVA, O. V. VINOGRADOVA, S. M. SYSOEVA

Summary

The alluvial placers exploitation by dredging interferes with natural course of channel processes, especially in valleys of IV to VI orders. It has been established by calculation that repeated dredging of a placer over considerable length of a valley may result in decrease of liquid discharge by 40 to 50%, and affects sediment budget as well. The changes could have serious repercussions in the lower links of the drainage network.