
ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 556.537: 502:333

ДИНАМИКА РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ УРАЛ И РИСКИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

© 2018 г. В. М. Павлейчик*, Ж. Т. Сивохиц, Ю. А. Падалко

Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

**e-mail: pavleychik@rambler.ru*

Поступила в редакцию 26.06.2017 г.

Принята в печать 29.05.2018 г.

На основе анализа материалов дистанционного зондирования (Landsat, 1985–2015 гг.) и архивных данных получены сведения о смещениях речных русел бассейна р. Урал. Отмечены стадии развития свободных излучин и речных протоков, степень их завершенности для рек с различным гидрологическим режимом и условиями формирования стока на водосборах (Урал и Сакмара). Выявлено, что трансформации русел в широкопойменных условиях стока главным образом обусловлены его величиной в период весеннего половодья. Динамичность русловых процессов в целом снижается за счет сокращения доли весеннего стока в результате макрорегиональных климатически обусловленных тенденций и регулирования стока водохранилищами. Наиболее активно развивающимися элементами русла являются вершины свободных излучин, темпы смещения которых достигают от 3–5 м до 11 м в год. Основные причины современных рисков разрушения хозяйственных объектов, расположенных в непосредственной близости от береговых уступов, обусловлены недостаточным учетом русловой активности при освоении региона. Расположение части российско-казахстанской границы по рекам Урал и Илек в условиях постоянных русловых трансформаций обуславливает возникновение спорных территорий.

Ключевые слова: русловые процессы, трансформации, бассейн реки Урал, снимки Landsat, меандры, риски природопользования, мониторинг

DOI: 10.1134/S2587556618050126

Русловые преобразования в пределах речных долин являются одним из наиболее динамичных и повсеместно развитых экзогенных процессов. Закономерности пространственной динамики русловых процессов достаточно изучены применительно к отдельным рекам и регионам, а также в аспекте формирования аллювиальных отложений [1–3, 5, 7]. Анализ пространственного положения русла за многолетний период позволяет выявить характерные черты в динамике русловых процессов. Интенсивность подобных преобразований обусловлена саморазвитием речных систем, а также воздействием изменяющихся климатических и гидрологических условий [4], а также антропогенных факторов [14]. Практическое значение имеет анализ русловых трансформаций, представляющих угрозу для объектов транспортной инфраструктуры, населенных пунктов и др. Непостоянство положения речного русла создает риски возникновения территориальных споров на межрегиональном и межгосударственном уровнях.

Отмеченные существующие и потенциальные проблемы характерны для среднего течения р. Урал и ее притоков и обусловлены высокой

степенью освоенности региона, трансграничным (российско-казахстанским) положением бассейна и прохождением части государственной границы по руслам рр. Урал и Илек. По мере освоения региона в XVIII в. вдоль всего течения р. Урал, служащего границей российского государства, происходило формирование системы крепостей и казачьих станиц. На их основе позднее сформировалась система расселения, при которой наиболее значимые населенные пункты и промышленные центры (Орск, Новотроицк, Оренбург, Уральск), а также связывающая их транспортная инфраструктура максимально приближены к долине р. Урал.

Методы и подходы. Для изучения интенсивности боковой эрозии в руслах рек применялись данные дистанционного зондирования – архивные спутниковые снимки среднего разрешения с 1985 по 2015 гг. Landsat (MSS, TM, ETM+, OLI). Данные по динамике русловых процессов получены путем дешифрирования снимков с использованием многоканальных водных индексов MNDWI, AWEI [6, 15] с помощью программного обеспечения QGIS. Полученные результаты анализировались посредством геоинформационного

инструментария MapInfo Professional 11.5 и SAGA GIS 2.3.1. На отдельные участки дополнительно рассмотрены разновременные снимки высокого разрешения, доступные в сервисе Google Earth, по которым визуально идентифицировалось положение русла и береговых уступов. В результате был подготовлен геоинформационный слой, на основе которого дана оценка количественных параметров и определены направления смещения речных русел. Заметим, что пространственное разрешение снимков Landsat (30 м) позволяет достаточно достоверно идентифицировать положение русла лишь для крупных рек с постоянным стоком (Урал, Сакмара, Илек, Салмыш, Орь). Для предварительной оценки были рассмотрены параметры смещения русел этих рек, в результате выявлено, что наиболее значимые трансформации наблюдаются лишь на широкопойменных участках, отличающихся повсеместным развитием свободных излучин. На основе полученных данных выбраны ключевые участки:

- отрезки практически равнозначных по годовому стоку рр. Урал и Сакмара (протяженностью 299 км и 351 км соответственно) от места их слияния до пределов непрерывного распространения широкопойменных условий формирования русел;

- р. Урал ниже устья Сакмары до г. Уральск, включая участок, совпадающий с российско-казахстанской границей;

- отдельные активно развивающиеся излучины, включая врезанные излучины на средних и малых реках, представляющие собой угрозу для хозяйственных объектов.

При выявлении динамики отдельных излучин также приняты во внимание сведения из отчетов по мониторингу экзогенных (в том числе и русловых) процессов, подготовленных Российским научно-исследовательским институтом комплексного использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ) в 2010 и 2014 гг. Для оценки общих тенденций смещения русла, в том числе в условиях его разветвления на протоки, рассмотрены доступные топографические карты различных масштабов и годов издания, архивные схемы г. Оренбурга и окрестностей со времени его основания.

Условия формирования речных долин и русловых трансформаций. По особенностям стока для р. Урал и ее водосборной площади в общих чертах выделяют верхнее (до устья Ори, г. Орск), среднее (до устья Чагана, г. Уральск) и нижнее (до устья) течения. В верхнем течении геолого-геоморфологические условия Зауральского пенеплена и относительная маловодность рек обуславливают развитие преимущественно русел адаптированного типа и, соответственно, практически полное отсутствие значительных смещений русла.

Долины среднего течения рр. Урал и Сакмара имеют субширотное развитие. Долина Урала здесь начинается с короткой (85 км) долины прорыва, ниже которой практически на всем протяжении русловой сток происходит в широкопойменных условиях. Этот протяженный отрезок долины заложен в пределах денудационных равнин Предуралья, а ниже — в зоне смыкания Общего Сырта (правый борт) и неоген-четвертичной равнины (левый борт). На этом отрезке река принимает наиболее значимые притоки (Сакмара и Илек).

Заметим, что р. Сакмара перед слиянием, как правило, многоводнее р. Урал, среднемноголетние значения стока составляют: годовой объем — 4.41 и 3.21 км³, расход — 139.6 и 101.7 м³/сек соответственно. В аспекте эрозионной деятельности водных потоков особое значение имеет сезонное распределение стока, особенно в период весеннего половодья. В этом отношении рассматриваемые реки значительно различаются. Сток р. Сакмары за период половодья (апрель—май) в среднем за многолетний период составляет 65% от годового стока, а Урала — лишь 40%. В летне-меженный период сток Урала более обилен за счет обширного водосбора, совокупной водности притоков и их количества. Сопоставимость значений стока при столь различных площадях бассейнов рр. Урал и Сакмара до слияния рек (82.3 тыс. км² и 31 тыс. км² соответственно) объясняется крайне неоднородными условиями формирования стока.

Рассмотренные ниже участки рр. Урал (от с. Залужье) и Сакмара (от с. Красносакмарск) до места их слияния характеризуются практически параллельным распространением, а незначительная удаленность друг от друга (15–30 км) обуславливает относительное единство геоморфологических условий, что отражается на определенной сходности в строении долин. Вместе с тем, по некоторым параметрам значительны различия: падение русла (по отметкам уреза) составляет 107 м на р. Сакмара и лишь 59 м на р. Урал.

Русла рек на рассматриваемых участках относятся исключительно к широкопойменному морфодинамическому типу; преобладает подтип свободных излучин (около 85% для Урала и 75% для Сакмары). Коэффициент извилистости также идентичен — 1.74 (299/172 км) и 1.73 (351/202 км) соответственно.

Ниже устья Сакмары Урал становится значительно более полноводным, долина — более разработанной; ширина поймы в среднем составляет 3–5 км, а максимальных значений (до 13 км) достигает ниже устья р. Илек. На этом промежутке пойма характеризуется наличием множества старичных озер, сезонных и постоянных протоков, что свидетельствует о существенных русловых транс-

формациях. Коэффициент извилистости составляет 1.75 (490/280 км).

В нижнем течении р. Урал сочетание ряда факторов (отсутствие значимых притоков, существенные потери воды на испарение в условиях аридного климата, забор воды в оросительные системы) приводит к сокращению водности реки в устьевой части на 5–10%. По мере снижения стока к устью сокращается ширина поймы, что особенно заметно ниже с. Калмыково (Тайпак), а распределение излучин носит более неравномерный характер. Так же, как и в среднем течении, русловые процессы часто приводят к угрозам уничтожения прибрежных участков, занятых населенными пунктами (Акжайик, Коловертное, Чапаев, Мергенево, Харкино, Сарайшик, Акжар, Атырау), ценными археологическими объектами (золотоордынский город Сарайшик), водохозяйственных объектов (Кушумский канал у с. Владимирка) и др.

Особенности и различия русловой динамики в широкопойменных условиях рр. Урал и Сакмара. Наиболее значимые русловые трансформации в широкопойменных условиях обусловлены развитием меандр, в ходе которого наблюдаются: 1) смещения русла под действием боковой эрозии и 2) спрямления русла в результате разрушения основания излучины.

В ходе исследований выявлено, что наиболее значимые смещения русла наблюдаются в процессе развития вершин меандр, характерных для широкопойменных условий рр. Урал, Сакмара и их притоков. Рост излучин в среднем оценивается в 80–100 м за 30 лет, 2.5–3 м в год. На отдельных активно развивающихся излучинах р. Сакмара отмечено смещение русла, достигающее 300–350 м (10–11.5 м в год).

Наибольшей переработке подвержены прирусловые уступы, сложенные рыхлыми породами, независимо от генезиса разрушаемых элементов (коренной берег, терраса, высокая пойма) и их превышения над уровнем зеркала. Очевидно, что наиболее высокими темпами эрозионное разрушение береговых уступов происходит в периоды весеннего половодья, когда потоки воды оказывают воздействие на более высокие уровни приречных обрывов. Значительные объемы поступающей к излучинам воды позволяют не только разрушать, но и быстро выносить рыхлые отложения от разрушаемого участка. В это же время создаются условия для формирования на поверхности уступов системы вертикальных гравитационных трещин (трещины отседания), разбивающих породы на отдельные блоки, частично обрушающиеся в дальнейшем по типу оползней.

Следует учитывать, что развитие речных излучин рр. Урал и Сакмара происходит на фоне изменения водного режима рек, обусловленного

как климатическими [10], так и антропогенными факторами. Влияние этих факторов на водный режим рассматриваемых рек в целом сводится к существенному перераспределению внутригодового стока — снижению весенне-паводкового и увеличению зимне-меженного стока. На р. Урал эта тенденция наблюдается особенно отчетливо и во многом обусловлена регулированием стока крупным Ириклинским водохранилищем [13].

Отдельно были отмечены участки спрямления русла за счет разрушения перемычки и размыва аллювиальных отложений между меандрами, либо за счет повторного вовлечения в речной сток староречий. На основе полученных данных о динамике пространственного положения русел рассматриваемых рек за 1984–2014 гг. были определены локальные участки поймы, в пределах которых наблюдалась перестройка системы речного стока. Выделенные участки дифференцировались по степени завершенности процесса: а) участки со свершившейся за 30 лет трансформацией (старое русло пересохло, либо представляет собой старичное озеро, соединяющееся с руслом в периоды весеннего половодья); б) участки на начальной стадии трансформации, свершившейся в последние годы, но имеющие тенденцию к быстрому завершению перестройки; в) относительно стабильные участки раздвоения русла на равноценные протоки с образованием островов (районы потенциальной “отложенной” перестройки); г) предполагаемые места прорыва участков между излучинами.

Если в развитии излучин рр. Урал и Сакмара имеют общие тенденции, то в русловой перестройке они значительно различаются (рис. 1). Так, если на Сакмаре отмечается 18 случаев законченной стадии развития излучин за последние 30 лет, то на Урале — ни одного. Сходные значения имеют участки с начальной стадией трансформации (по 2) и раздвоением русла с относительно постоянными равнозначными протоками (по 1). Являясь в большинстве случаев закономерным заключительным этапом развития меандр, подобные явления способствуют значительному спрямлению русла. Площади и количество трансформаций положения русла приведены в табл. 1.

Для отдельных участков рр. Урал и Сакмара характерно разветвление русла на рукава (обычно — два), как правило, расположенных в периферийных зонах поймы (вдоль тыловых швов), ограниченных уступами террас или коренных берегов. Равнозначность протоков может сохраняться продолжительное время, тем не менее из-за неравномерности накопления аллювиальных отложений сток имеет тенденцию к увеличению для одной из протоков. На основе сопоставления исторических карт [11] и современных кос-

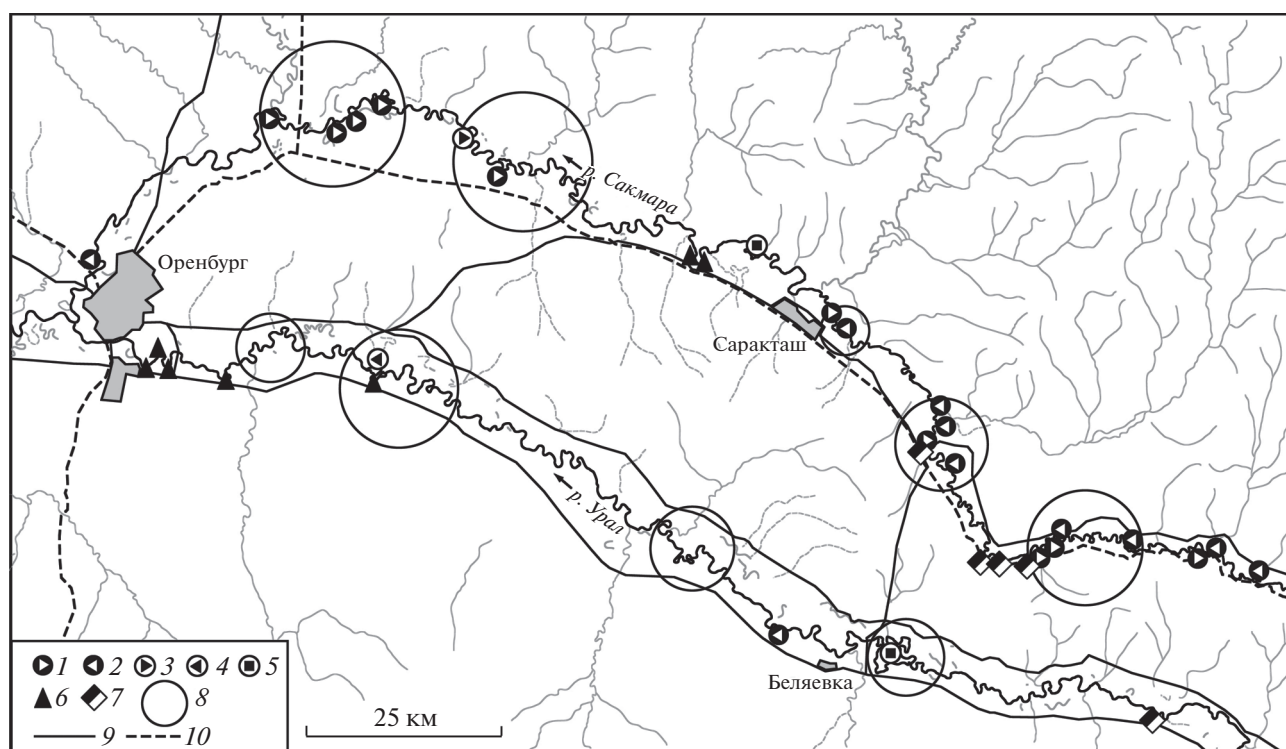


Рис. 1. Важнейшие русловые трансформации в долинах рр. Урал и Сакмара за 1984–2015 гг. и обусловленные ими угрозы: 1–2 – завершённые, смещение русла вправо (1), влево (2); 3–4 – незавершённые, смещение русла вправо (3), влево (4); 5 – участки стабильного раздвоения русла; 6–7 – эрозионно-опасные участки, представляющие угрозу населённым пунктам (6) и транспортным магистралям (7); 8 – участки активного меандрирования; 9 – автомобильные дороги; 10 – железнодорожные пути.

моснимков отмечено, что за 145 лет на участке среднего течения р. Урал (от Оренбурга до Уральска) произошло как минимум 7 случаев подобной трансформации. Примечательно, что 4 верхних пары протоков (до устья р. Илек) характеризовались смещением в сторону правобережья, а 3 нижних – в сторону левобережья. При этом два участка выше и ниже устья р. Илек с разветвлением на протоки характеризуются противоположным (лево- и правобережным) направлением и незавершённостью стадии трансформации.

Также отмечены различия в направлении смещения русла в результате боковой эрозии и смыкания излучин относительно сторон берегов. Если для Сакмары направления смещения практически одинаковы (11.7 км² – к правому берегу и 12.3 км² – к левому), то Урал характеризуется отчетливым смещением к левому берегу (2.5 км² и 5.2 км² соответственно).

Полученные результаты свидетельствуют, что на Урале преобладают русловые процессы, указывающие на значительную однонаправленную

Таблица 1. Количественные показатели пространственных русловых трансформаций на ключевых участках рр. Урал и Сакмара

Рост вершин излучин	Урал		Сакмара	
	кол-во	км ²	кол-во	км ²
	110	8.8	107	11
Русловые преобразования (смыкание излучин):				
завершённые	0	0	18	10.9
незавершённые	2	4.0	2	1.1
равнозначные долговременные протоки, речные острова	1	12.6	1	2.6

тенденцию “старения” русла, выражающуюся в усилении меандрирования. Иная ситуация складывается на Сакмаре, где процессы развития меандр на протяжении всего рассматриваемого участка доходят до завершающей стадии, сопровождающейся спрямлением русла, и имеют циклический характер.

Несмотря на увеличение водности и расширение поймы р. Урал ниже слияния с Сакмарой размеры меандр остаются такими же, как и выше по течению. Положение реки обычно смещено относительно центра поймы к периферийным зонам. По полученным данным для этого участка реки характерно преимущественно левобережное смещение русла с разрушением коренных берегов. Рост вершин излучин, по нашим расчетам, оценивается в среднем в 2–3 м/год, максимум составляет 7 м/год, что сопоставимо с результатами исследований за более ранние (1978–2012) годы [9].

Риски природопользования. Развитие излучин может протекать как исключительно в пойме реки, так и захватывать прилегающие участки террас и коренных берегов. Несмотря на высокую пространственную динамичность русловых процессов, случаи, когда разрушение береговых уступов приносит значимый ущерб, единичны. Подобные участки достаточно обследованы и известны благодаря проводимым исследованиям в рамках регионального мониторинга за экзогенными процессами. Некоторые из отмеченных участков представляют собой значимую угрозу для важных инфраструктурных объектов и требуют подготовки инженерных решений по берегоукреплению, либо по переносу объектов. Наиболее часто объектами разрушения в результате эрозионной деятельности рек становятся прибрежные окраины населенных пунктов и элементы транспортной инфраструктуры.

Важно понимать, что угрозы разрушения домовладений — во многом результат неудачного выбора места основания и развития населенных пунктов, без учета пространственной направленности и динамичности русловых процессов. Так, большинство сельских населенных пунктов, расположенных на берегах Урала, были основаны еще в XVIII–XIX вв.; близость их расположения к реке диктовалась исходя из целей и потребностей тех времен — охрана границы казачьими поселениями, обеспечение водой населения и скота, использование рек в качестве транспортной артерии, рыбная ловля, использование заливных пойменных лугов и др. Можно предположить, что за время своего существования населенные пункты неоднократно подвергались угрозе разрушения домовладений ввиду близости к эрозионно опасным участкам. Более того, многолетний (1950–1991 гг.) период преимущественно маловодных

лет и последовавшая стабилизация эрозионных процессов, вероятно, способствовали принятию решений о возможности застройки участков высокой поймы, особенно в городах. Последовавшая череда многоводных лет (1992–2003 гг.) сопровождалась периодическим подтоплением прибрежной части населенных пунктов, застроенных без учета изменчивости гидрологического режима рек. Населенные пункты, подверженные рискам роста речных излучин, отмечены выше (см. рис. 1). Как правило, на таких участках проводятся мероприятия по укреплению берегов.

Вместе с тем, довольно часто наблюдались и обратные ситуации, когда русла рек отдалялись от населенных пунктов, о чем свидетельствует сопоставление исторических [11] и современных карт — с. Черноречье, Бородинск, Островное на р. Урал, Верхние Чебеньки, Пречистинка, Воздвиженка на р. Сакмара. Подобные ситуации отмечены нами и за рассмотренный 30-летний период на р. Сакмара (Дмитриевка, Нижние Чебеньки, Ладыгинский, Новониколаевка, Акбулатово).

Пространственная динамика русловых процессов представляет собой определенную угрозу для объектов транспортной инфраструктуры. Развитие дорожной сети происходило из необходимости соединения населенных пунктов по возможности кратчайшим путем и без дополнительных горных работ. В результате автомобильные и железные дороги часто проложены вдоль уступов речных террас и коренных берегов, а отдельные участки находятся в относительной близости от водотоков, что в настоящее время приводит к потенциально опасным ситуациям.

Следует учитывать, что проектирование и строительство отрезков Южно-Уральской железной дороги в современных границах Оренбургской области происходило в конце XIX — начале XX в. (Кинель–Оренбург — 1877 г., Оренбург–Орск — 1918 г.). В аспекте русловой динамики наиболее сложным (и потенциально экономически затратным) остается функционирование отрезка железной дороги на участке Саракташ–Кувандык, проложенном вблизи р. Сакмара. На этом отрезке отмечено сразу четыре потенциально опасных участка: а) две излучины непосредственно на южной окраине с. Кондуровка и в 2-х км восточнее нее, удаленные на 170–180 м от полотна дороги; б) излучина в 6,3 км восточнее окраины с. Кондуровка (84 м); в) самая приближенная (48 м) к полотну и потенциально опасная излучина ниже с. Желтое. С учетом выявленных темпов роста этих излучин, составляющих 3,5–4 м в год, особо актуальной становится необходимость укрепления эрозионно опасного участка берега и отведения русла в ближайшие годы, а также систематического мониторинга. Помимо этого, размыв берега у с. Желтое уже к настояще-

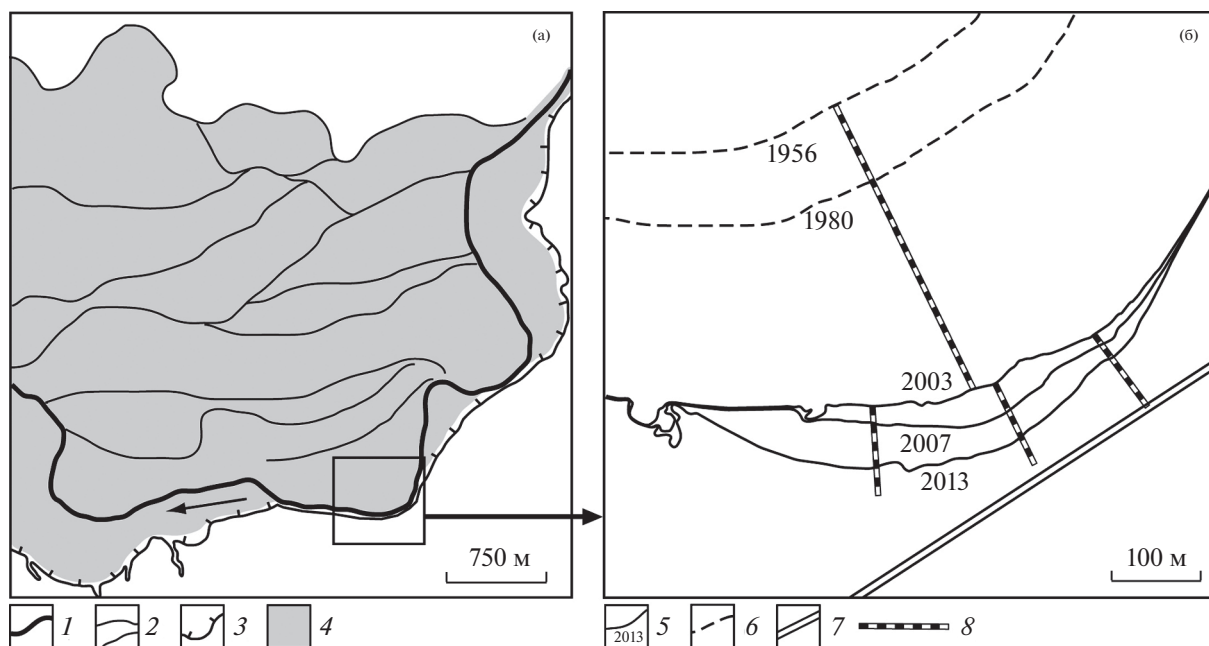


Рис. 2. Тенденции и темпы смещения русла р. Большой Юшатырь. а – общий план поймы и формирования макроизлучины: 1 – современное положение русла, 2 – бывшее положение русла, 3 – уступ коренного берега, 4 – пойма; б – динамика эрозионно-опасной излучины – положение береговых уступов: 5 – установленное, 6 – предполагаемое, 7 – автодорога, 8 – 100-метровые реперы.

му времени потребовал переноса газопровода высокого давления, линий связи и электропередачи, автодороги Каменноозерное – Медногорск.

Из автомобильных дорог одна из наиболее сложных ситуаций отмечается на р. Урал у с. Пехотное. На основе двух снимков Google Earth (2003 и 2013 г.) и снимка спутника Landsat (1985 г.) рассчитано, что максимальные темпы смещения на этой излучине за 30-летний период составили около 11 м/год, а по направлению дорожного полотна – 3 м/год.

Сходные ситуации наблюдаются не только на крупных, но и на относительно маловодных реках региона. Так, потенциально опасная ситуация отмечается на дороге Биккулово–Октябрьское, в двух местах подмываемой излучинами р. Большой Юшатырь на удалении 30 и 22 м (рис. 2). В информационном бюллетене о состоянии геологической среды Оренбургской области за 2009 г. (ОАО Компания “Вотемиро”, Оренбург, 2010) приводятся сведения, основанные на анализе материалов аэрофотосъемок, о том, что за период с 1956 по 2003 г. одна из излучин сместилась на 350 м, из них 280 м пришлось на период с 1980 по 2005 г. Таким образом, средние темпы прироста вершины излучины за 60-летний период составили 7 м в год.

Помимо недостаточного учета динамики русловых процессов при проектировании и строительстве объектов дорожной инфраструктуры, отметим недостаточность предупредительных бе-

регоукрепительных работ, включая лесомелиоративные. Такие мероприятия менее затратны, чем сооружение комплекса берегоукрепительных сооружений. Так, на работы по закреплению растущей излучины вблизи с. Облавка Западно-Казахстанской области Казахстана и автодороги Уральск – Оренбург, завершённые в 2015 г., было израсходовано 1192 млн тенге (около 0.4 млрд руб.) [8].

Русловые трансформации на российско-казахстанской границе. Одной из актуальных проблем, обусловленной пространственной динамикой русла, являются потенциальные территориальные претензии, особенно на межгосударственном уровне. Статус границы закреплён межгосударственным “Договором между РФ и РК о российско-казахстанской государственной границе” от 18 января 2005 г., ратифицированным обеими сторонами [12]. Согласно документу, делимитация российско-казахстанской границы по руслу р. Урал проходит по середине реки. В статье № 4 Договора отмечается, что естественные изменения русла пограничной реки не влечет за собой изменений в положении государственной границы, если государства не договорились об ином.

Для рассматриваемой территории часть границы между Российской Федерацией (Оренбургская область) и Республикой Казахстан (Актыбинская и Западно-Казахстанская области) проходит по водотокам. При общей протяженности границы (в пределах бассейна р. Урал) 1330 км,



Рис. 3. Русловые трансформации в зоне российско-казахстанской границы. 1 — положение границы РФ и РК, положение р. Урал в 1984 г., 2 — положение р. Урал в 2015 г.; А, Б — участки спрямления излучин, В — эрозионно-опасный участок, укрепленный в 2015 г.

около 27% приходится на реки, в том числе на участки рр. Илек и Урал (179 км и 128 км соответственно) со свободно меандрирующим руслом. Динамичность развития меандр может вести к формированию спорных территорий. На пограничном участке р. Урал (с. Илек — с. Раннее) за рассматриваемый период отмечено два случая трансформации, сопровождающиеся разрушением основания излучин и спрямлением русла. Разрушение оснований смежных излучин (на карте — А) отмечено в 1960–1975, 1999 г., что в итоге к 2006 г. привело к спрямлению русла (рис. 3). Во второй излучине (Б) прорыв основания появился в 1985 г. и с 1996 г. отчленился от реки участок старого русла, полное спрямление сформировалось к началу 2000-х годов. Две из этих отчленившихся излучин правые (1.8 и 1.69 км²), одна — левая (0.64 км²).

На участке отмечено еще две излучины с основанием в 130–150 м, которые потенциально могут быть спрямлены в ближайшие десятилетия. В целом, исходя из положения на этом участке русла реки относительно поймы можно сделать вывод о преобладающем развитии долины в направлении левобережья. Пойма реки на рассмотренных выше участках практически не освоена, поэтому изменение положения русла и, соответственно, государственной границы в настоящее время не вызывает территориальных претензий.

Заключение. Проведенные исследования свидетельствуют о высокой динамичности русловых процессов в широкопойменных условиях. Интенсивность развития речных излучин во многом зависит от водного режима рек — условий формирования и величины стока, его распределения по

сезонам года, антропогенных факторов и др. Практически полное отсутствие завершающих стадий развития меандр в сочетании с односторонней тенденцией роста вершин излучин для р. Урал указывает на “старение” речной долины, сопровождающееся преобладанием аккумуляции аллювиальных отложений над их выносом, главным образом за счет сокращения объемов весенне-паводкового стока на фоне климатических и антропогенных изменений. Для р. Сакмары отмечается полный цикл развития меандр, в целом приводящий к спрямлению русла, что свидетельствует о большей устойчивости условий поверхностного стока.

Существующий и потенциальный рост излучин, как и другие русловые трансформации, должны учитываться при проведении строительных и горных работ в поймах рек и на коренных берегах, сложенных рыхлыми отложениями. Берегоукрепительные мероприятия, включая лесомелиорацию и нормирование отдельных видов природопользования, должны проводиться до возникновения потенциальных угроз на основе систематических мониторинговых наблюдений.

Динамичность русловых преобразований на участке государственной границы может являться фактором потенциальных территориальных претензий, что нужно учитывать в аспекте российско-казахстанских взаимодействий.

Благодарности. Статья подготовлена в рамках государственного задания (№ ГР АААА-А17-117012610022-5).

Acknowledgments. This article was performed within Scientific Research Plan of the Steppe Institute, UB RAS no. GR АААА17-117012610022-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. М.: МГУ, 1988. 202 с.
2. *Баровский Н.А.* Гидролого-морфодинамический анализ свободно меандрирующих русел на разных стадиях их развития // *Геоморфология*. 2005. № 4. С. 54–63.
3. *Бутаков Г.П., Назаров Н.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Условия формирования русел и русловые деформации на реках бассейна р. Камы // *Эрозионные и русловые процессы*. Вып. 3. М.: МГУ, 2000. С. 138–148.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 58 с.
5. *Завадский А.С., Каргаполова И.Н., Чалов Р.С.* Стадии развития свободных излучин и их гидролого-морфологический анализ // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2002. № 2. С. 17–22.
6. *Курганович К.А., Носкова Е.В.* Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования // *Вестн. ЗабГУ*. 2015. № 6(121). С. 16–23.
7. *Левашова И.А., Левашов А.А.* Оценка и прогноз русловых деформаций в связи с изменением гидрологического режима // *Моделирование и прогнозы гидрологических процессов*. СПб., 1992. С. 50–56.
8. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2015 год. URL: <http://doklad.ecogofond.kz/iosos-zko>.
9. *Сергалиев Н.Х., Ахмеденов К.М.* Русловые процессы на реке Урал // *Новости науки Казахстана*. 2013. № 3(117). С. 201–205.
10. *Сивохин Ж.Т., Падалко Ю.А.* Географо-гидрологические факторы опасных гидрологических явлений в бассейне реки Урал // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2014. № 6. С. 53–61.
11. Специальная Карта Европейской России / под ред. И.А. Стрельбицкого. М-б 1:420000. Листы № 130, 141. Изд-во Воен. топогр. отдела, 1874.
12. Федеральный закон Российской Федерации от 2 декабря 2005 г. № 148-ФЗ “О ратификации Договора между Российской Федерацией и Республикой Казахстан о российско-казахстанской государственной границе” // *Российская газета*. № 3943. 6 декабря 2005 г.
13. *Чибилёв А.А., Павлейчик В.М., Дамрин А.Г.* Ирригационное водохранилище: геоэкология и природно-ресурсный потенциал. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 183 с.
14. *Шикломанов И.А.* Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 301 с.
15. *Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R.* Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // *Remote Sensing of Environment*. 2014. № 140. P. 23–35.

Dynamics of riverbed evolution in the middle Ural River and natural management risks

V. M. Pavleichik*, Zh. T. Sivokhip, and Yu. A. Padalko

Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

*e-mail: pavleychik@rambler.ru

Received June 26, 2017

Accepted May 29, 2018

Data on the shifts of riverbeds in the Ural River basin were obtained based on the analysis of remote sensing data (Landsat, 1985–2015) and archival data. The stages of development of free bends and riverbed, the degree of their completeness for rivers with different hydrological regime and conditions of formation of runoff in catchments (Ural and Sakmara) are marked. It was revealed that the peculiarities of riverbed transformation in wide floodplain conditions are mainly due to runoff values during the spring flood. It is noted that the dynamics of riverbed evolution processes in general is reduced due to a decrease in the share of spring flow as a result of macroregional climatically determined trends and regulation of runoff by reservoirs. The most actively developing elements of the riverbed are the peaks of free bends, the rates of spatial displacement of which range from 3–5 m to 11 m per year. The main reasons for the current risks of destruction of economic facilities located in the immediate vicinity of the coastal ledges are due to insufficient account of riverbed activity during the development of the region. The location of part of the state Russian-Kazakhstan border along the Ural and Ilek rivers in conditions of constant riverbed transformations causes the emergence of disputed territories.

Keywords: riverbed evolution, transformations, the Ural River basin, Landsat images, meanders, natural management risks, monitoring.

REFERENCES

1. *Alekseevskiy N.I.* *Formirovaniye i dvizheniye rechnykh nanosov* [Formation and Movement of River Sediments]. Moscow: Moscow St. Univ., 1988. 202 p.
2. *Barovsky N.A.* Hydrological-morphodynamic analysis of freely meandering channels at different stages of their development. *Geomorphology RAS*, 2005, no. 4, pp. 54–63. (In Russ.).

3. Butakov G.P., Nazarov N.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Conditions for the formation of channels and channel deformations on the rivers of the basin of the Kama river. In *Erozionnye i ruslovyie protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow: Moscow St. Univ., 2000, vol. 3, pp. 138–148. (In Russ.).
4. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezюме* [The Second Assessment Report of Roshydromet on Climate Change and Its Consequences in the Territory of the Russian Federation. General Summary]. Moscow: Rosgidromet Publ., 2014. 58 p.
5. Zavadsky A.S., Kargapolova I.N., Chalov P.S. Stages of development of free bends and their hydrological-morphological analysis. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5: Geogr.*, 2002, no. 2, pp. 17–22. (In Russ.).
6. Kurganovich K.A., Noskova E.V. The use of water indices to assess the change in the area of the water mirror of steppe soda lakes in the Southeast of Transbaikalia, according to remote sensing data. *Vestn. Zabaikal. Gos. Univ.*, 2015, no. 6 (121), pp. 16–23. (In Russ.).
7. Levashova I.A., Levashov A.A. Estimation and forecast of channel deformations in connection with the change in the hydrological regime. *Modelirovanie i Prognozy Gidrologicheskikh Protseessov*, St. Petersburg, 1992, pp. 50–56. (In Russ.).
8. *Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy i ob ispol'zovanii prirodnnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2015 god* [National Report on the State of the Environment and the Use of Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 2015]. Available at: <http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2018/03/140320171.pdf> (accessed 08.07.2018).
9. Sergaliev N.H., Akhmedenov K.M. Stream Processes on the Ural River. *Novosti Nauki Kazakhstana*, 2013, no. 3 (117), pp. 201–205. (In Russ.).
10. Sivohin J.T., Padalko Yu.A. Geographical and hydrological factors of dangerous hydrological phenomena in the Ural river basin. *Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 2014, no. 6, pp. 53–61. (In Russ.).
11. *Spetsial'naya Karta Evropeiskoi Rossii* [Special Map of European Russia]. Map scale 1:420000. I.A. Strel'bitskiy, Ed. Voen. Topogr. Otdel Publ., 1874. Sheets no. 130, 141.
12. The Federal Law of the Russian Federation No. 148-FZ of December 2, 2005 On the Ratification of the Treaty between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan on the Russian-Kazakh State Border. *Ross. Gazeta*, Dec. 6, 2005, no. 3943.
13. Chibilyov A.A., Pavlychik V.M., Damrin A.G. *Irik-linskoe vodokhranilishche: geoekologiya i prirodno-resursnyi potentsial* [Iriklin'sky Reservoir: Geoecology and Natural Resource Potential]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 2006. 183 p.
14. Shiklomanov I.A. *Antropogennnye izmeneniya vodnosti rek* [Anthropogenic Changes in the Water Content of Rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 301 p.
15. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Rem. Sens. Environ.*, 2014, no. 140, pp. 23–35.