

А.А. КУРАКОВА

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, a.a.kurakova@mail.ru

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РАВНИННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА РАЗМЫВОВ БЕРЕГОВ РЕК

Проведен анализ одного из ведущих факторов — стока воды, оказывающего влияние на опасные проявления русловых процессов (размывы берегов) в пределах равнинной части Западной Сибири, включающей в себя бассейны Оби, Надьма, Пура и Таза, которые протекают в различных природных условиях и характеризуются широким распространением размывов берегов, представляющих опасность для водохозяйственного и водотранспортного освоения территории. Рассмотрено развитие ландшафтно-гидрологического подхода, хорошо зарекомендовавшего себя в районах, где недостаточно или совсем отсутствуют данные о гидрологическом режиме рек. Выполнено районирование территории на основе связи между порядком реки, позволяющим учитывать морфологию русла и характеризующим изменение размеров реки, и среднемноголетними расходами воды. Было выделено шесть районов, которые объединяют реки, имеющие схожие геолого-геоморфологические, гидроклиматические, гидрогеологические, лимнологические и другие природные условия формирования русла. Сравнение ландшафтно-гидрологического районирования и имеющихся данных о пространственном изменении темпов размыва берегов Обь-Иртышского бассейна показывает их схожесть, которая проявляется в закономерном уменьшении скоростей размыва берегов с юго-востока на северо-запад, что совпадает с общим увеличением в этом направлении естественной зарегулированности стока болотами и озерами, появлением вечной мерзлоты на севере, а также сменой внутригодового распределения стока ввиду изменения температурного режима, режима осадков и гидрогеологического строения территории. Результаты ландшафтно-гидрологического анализа могут быть использованы не только для исследования опасных русловых процессов и закономерностей их проявлений, но и для решения водохозяйственных и водотранспортных задач.

Ключевые слова: ландшафтно-гидрологический анализ, районирование, русловые процессы, русловые деформации, скорость размыва, расход воды.

A.A. KURAKOVA

Lomonosov Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia, a.a.kurakova@mail.ru

LANDSCAPE-HYDROLOGICAL ZONING OF THE FLAT AREAS OF WESTERN SIBERIA, AND ITS APPLICATION IN THE ANALYSIS OF RIVER BANK EROSION

This article is focused on analyzing one of the main factors, i.e. water flow, which affects the dangerous manifestations of river processes (bank erosion) within the flat area of Western Siberia, including the Ob, Nadym, Pura and Taz river basins. These processes occur under various natural conditions and are characterized by widespread coastal erosion, which poses a threat to water management and the development of water transportation on the territory. The development of a landscape-hydrological approach, which has worked well in areas with limited or no hydrological information on rivers, is considered. Based on the relationship between river order, which allows us to take into account channel morphology and changes in river size, the territory has been zoned. Six regions were identified where rivers with similar geographical and morphological, hydrological, hydrogeological and limnological characteristics flow together. A comparison between the landscape-hydrological zones and the available data on spatial changes in bank erosion rates in the Ob-Irtysh basin reveals similarities. They are manifested in a natural decrease of bank erosion from south-east to north-west, coinciding with a general increase in the natural regulation of run-off from marshes and lakes in this direction. Additionally, the presence of permafrost in the northern region also contributes to this process. Intra-annual variations in the distribution of run-off due to changes in temperature, precipitation, and the hydro-geology of the area also play a role. The results of this landscape-hydrological analysis can be used not only to study dangerous riverbed processes and patterns of their manifestations, but also to solve water management and transportation problems.

Keywords: landscape-hydrological analysis, zoning, fluvial processes, channel migration, erosion rate, water discharge.

ВВЕДЕНИЕ

Сток воды представляет собой один из ведущих факторов русловых процессов, который непосредственно влияет на морфологию русла, морфометрические характеристики его форм и определяет их переформирование [1]. Ряд исследователей-ландшафтоведов подчеркивали, что один из наиболее достоверных подходов к изучению изменения стока воды реки — ландшафтный [2–4]. Гидрологическая роль ландшафтов и исторический путь развития этой идеи постоянно становились предметами научных изысканий [5]. В основе этого лежит подход выделения природно-территориальных комплексов, которые могут быть разного ранга (от фаций до типов местности) и имеют определенное сочетание физико-географических факторов, а следовательно, и характер протекающих в них процессов. Выделение участков с однородными природными условиями позволяет определить территории, на которых сток формируется одинаково. Но зачастую недостаточная плотность гидрометеорологической сети, особенно в удаленных восточных районах страны, затрудняла проведение исследований и способствовала развитию ландшафтно-гидрологического анализа территории. В связи с этим в 1970–1980-х гг. начала формироваться сибирская школа ландшафтной гидрологии с центром в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. В основе развития этого научного направления лежат идеи академика В.Б. Сочавы, а также многих ведущих гидрологов: А.И. Субботина, И.С. Соседова, А.Н. Антипова, В.Н. Фёдорова, Л.М. Корытного, И.Н. Гарцмана, Ю.Б. Виноградова и др. [6]. Применение ландшафтно-гидрологического анализа позволяет определить основные закономерности связей между природными факторами и гидрологическими процессами и явлениями, а также дать их пространственное описание. Одновременно создается учение о ландшафтно-гидрологических системах (ЛГС) — частях земной поверхности, где взаимодействие гидрологических процессов и природных структур обладает локализовано специфическими закономерностями. ЛГС могут быть разделены на основе доминирующего фактора в виде стока на стокоформирующие комплексы [7]. Так как сток в зависимости от размера территории определяется разными факторами (орографическими, климатическими, степенью дренированности и т. д.), то и ЛГС выделяются от элементарного ЛГ-участка до ЛГ-субконтинентов. Первые попытки провести комплексное гидрологическое районирование территории с учетом ландшафтных условий были предприняты еще в начале XX в., позже гидрологи из Томского университета районировали лесную зону Западно-Сибирской равнины по минимальному стоку, подкрепив исследование данными по геологическому строению и литологии подстилающих пород [8]. С ландшафтно-гидрологическим анализом тесно связана бассейновая концепция, которая определяет речной бассейн как основную таксономическую и расчетную единицу, имеющую четкие границы по водоразделам, и в которой водный поток является мощным интегрирующим фактором [9].

В целом имеется существенный пробел в исследованиях, связывающих динамику эрозионно-аккумулятивных процессов и ландшафтные условия водосборов рек, особенно для Западной Сибири. Только в последнее десятилетие появляются исследования, направленные на установление физико-географических факторов (в первую очередь, через гидрологический режим), обуславливающих основные закономерности переформирования русла. Отдельные попытки были предприняты коллегами из Нижневартовска, которые рассматривали часть среднего течения р. Оби и бассейн р. Конды. На основе ландшафтно-гидрологического районирования в первом случае они показали связь гидрологического фактора с русловыми деформациями реки, во втором — ранжировали Конду и ее бассейн по степени устойчивости к техногенным воздействиям [10, 11]. Многие годы проводятся исследования речных систем Дальнего Востока. Одним из направлений данных работ было установление типичных парагенетических сочетаний типов русла в зависимости от природных условий среды, эффективнее всего достигаемое при использовании ландшафтно-гидрологического районирования, как это было показано на примере Приморья [12].

Цель данного исследования — провести ландшафтно-гидрологическое районирование равнинной части Западной Сибири с целью выявления связи между природными условиями, формирующими сток воды рек, и проявлением на них опасных русловых процессов (размывов берегов).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В работе рассмотрена равнинная территория Западной Сибири, которая включает в себя бассейны Надыма, Пура, Таза и Оби. Область исследования характеризуется континентальным климатом с активной циклонической деятельностью. Расположение в глубине континента и открытость территории с севера, юга и юго-запада обуславливают, с одной стороны, ее континентальность, с другой — периодическое вторжение арктического и тропического воздуха. В теплое время года активизируется

западный перенос воздушных масс, зимой оказывает влияние Сибирский антициклон. Средняя температура июля (самый теплый месяц) — от $+5^{\circ}\text{C}$ на севере до $+20^{\circ}\text{C}$ на юге, января (самый холодный месяц) — от -15°C на юго-западе до -30°C на северо-востоке. На всей территории количество осадков в основном составляет от 200 до 800 мм, испаряется от 50 до 350 мм. Территория располагается в нескольких сменяющих друг друга физико-географических зонах — от степей на юге до тундры на севере [13–15].

В геолого-геоморфологическом отношении Западно-Сибирская равнина располагается в пределах молодой плиты, фундамент которой покрыт толщей чередующихся отложений континентального и морского происхождения. Мощность осадочного чехла изменяется от 3 км на юге до 11 км на севере. Равнина ограничена Уральскими горами на западе, Средне-Сибирским плоскогорьем на востоке, возвышенностями — Тургайской столовой страной и Казахстанским мелкосопочником и предгорьями Алтайской и Саянской горных систем — на юге. Равнина представляет собой две пониженные котловины с абсолютными отметками преимущественно до 200 м и приподнятыми краями (250–300 м) — северную (Нижнеобская) и южную (Среднеобская), разделенные широтным повышением рельефа, простирающимся от предгорий Урала в области Тоболо-Сосьвинского водораздела (возвышенность Люлимвор) через Сибирские увалы к Енисейскому кряжу, и соединенные между собой широким понижением — долиной Оби. Территория занята многочисленными возвышенностями (Пур-Тазовская, Северо-Сосьвинская, Люлимвор, Полуйская, Верхне-Тазовская, Васюганская, Вех-Кетская и др.) и увалами (Аганский, Салехардские, Белогорский и Тобольский «материки» — отроги Сибирских увалов), высоты которых достигают 300 м, а также множеством низменностей (Надымская, Пурская, Тазовская, Среднеобская, Кондинская, Ханты-Мансийская, Вахская и др.) [13–15].

С.С. Воскресенский [16] разделял Западно-Сибирскую равнину на области по особенностям рельефа, обусловленным разным ходом эрозионно-аккумулятивных процессов, в основном в четвертичный период. Северная область — морские аккумулятивные равнины, занимающие большую часть Ямальского, Тазовского и Гыданского полуостровов, где различают формы, созданные морем, флювиальными и эоловыми процессами и связанные с вечной мерзлотой. Центральная область, охватывающая Обский бассейн, представлена ледниковыми и водноледниковыми равнинами, южная граница которых очерчивается по распространению валунного материала (примерно 60° с. ш.). На большей части этой территории, за исключением краевых частей равнины у Уральских гор и Средне-Сибирского плоскогорья, типичный ледниковый рельеф слабо выражен, будучи сильно переработанным эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек. Третья, южная, область представляет собой территорию аллювиальной и озерной аккумуляции. В ее пределах находится центральная часть Обь-Иртышского бассейна, аккумулятивная деятельность рек и озер которой в течение длительного времени сформировала монотонный, относительно равнинный рельеф. Наиболее пониженные гипсометрические отметки приурочены к замкнутым бессточным областям. Эту область разделяют неогеновые аккумулятивные равнины — озерная Прииртышская впадина и Васюганское плато. На юго-востоке и востоке располагаются денудационные плато с хорошо разработанным эрозионным рельефом — Приобское (у подножия Алтая, Салаира, Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна) и Причулымское, разделяющее Обь, Чулым и Енисей [16].

Современные формы рельефа сложены исключительно четвертичными отложениями, которые имеют большую мощность в котловинах и впадинах. Данные отложения представлены песками, песчано-суглинистыми, суглинистыми и лессовыми породами аллювиального, ледникового, озерно-ледникового и флювиогляциального генезиса, где к последним приурочен галечный и валунный материал; также повсеместно распространены осадки озерного и озерно-болотного происхождения. Формирование и многократное переотложение этих отложений произошло в результате их аккумуляции в приледниковых зонах, размеры и местоположение которых неоднократно менялись по мере развития оледенения [16]. Равнинные реки Западной Сибири бассейна имеют преимущественно широкие долины (от 4–5 до 20–30 км, на Оби — до 60 км), а их низкие террасы и пойма сложены в основном легко размываемыми песчано-легкосуглинистыми аллювиальными отложениями, что приводит к абсолютному преобладанию свободных условий развития русловых деформаций с высокими темпами. По водному режиму реки Западно-Сибирской равнины относятся преимущественно к западносибирскому типу (по Б.Д. Зайкову) с растянутым весенним половодьем, повышенным летне-осенним стоком и зимней меженью [17].

Ввиду малой плотности гидрологических постов на исследуемой территории для проведения анализа связи гидрологического фактора и размывов берегов вместо расходов воды использовался косвенный интегральный показатель — порядок реки N , который характеризует не только изменение расходов воды вниз по течению, но и в целом размеры реки (ширину, площадь живого сечения и др.).

Такой подход был опробован ранее автором [17] для рек Обь-Иртышского бассейна в пределах лесной зоны, что показало реальную возможность его использования. Порядок реки рассчитывался по формуле А.Е. Шайдеггера в интерпретации Н.И. Алексеевского [18]:

$$N = \log_2 P + 1,$$

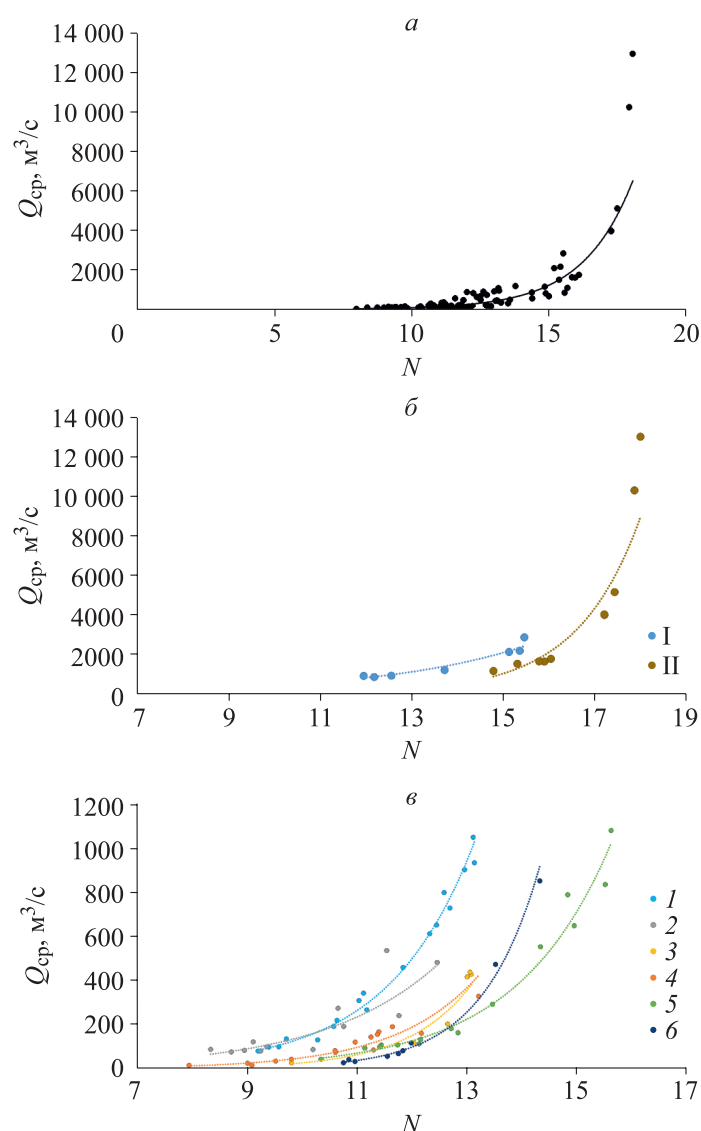
где P — количество водотоков с длиной менее 10 км.

На основе связи между среднегодовыми расходами воды $Q_{\text{ср}}$, м³/с и порядками рек N для равнинных рек Западной Сибири была получена зависимость, соответствующая экспоненциальному уравнению вида

$$Q_{\text{ср}} = ae^{bN}.$$

Причем данная зависимость может отличаться для той или иной реки и позволяет сгруппировать их между собой. В исследовании данные по порядкам рек и их изменению по длине русла были обновлены и существенно дополнены, что позволило провести по-новому районирование территории на основе связи $Q_{\text{ср}} = f(N)$. При этом проведенное ранее А.Н. Антиповым [7] ландшафтно-гидрологическое районирование Западной Сибири позволило уточнить и обосновать полученный автором вариант ландшафтно-гидрологического районирования территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ



Ландшафтно-гидрологическое районирование равнинной территории Западной Сибири. Все исследуемые реки описываются единой нижней огибающей

$$Q_{\text{ср}} = 0,326e^{0,55N} (R^2 = 0,87),$$

но при этом каждая река также имеет свою зависимость увеличения стока $Q_{\text{ср}}$ при возрастании порядка реки N (рис. 1).

Близкая связь между водоносностью $Q_{\text{ср}}$ и порядком N отдельных рек Западной Сибири позволила выполнить ее районирование по условиям формирования стока воды, т. е. ландшафтно-гидрологическим условиям (рис. 2), проявляющимся, за исключением крупнейших рек — Оби и Иртыша, в выделении шести районов, охватывающих бассейны средних и больших рек: I — Северный (Конда, Северная Сосьва, Полуй, Надым, Пур и Таз); II — Правобережье Оби (Казым, Назым, Лямин, Аган, Тромъеган, Вах, Тым, Кеть); III — Зауралье (Тавда, Тура); IV — Обь-Иртышское междуречье (Демьянка, Большой Юган, Тара, Васюган, Парабель), V — Юго-восточный (Томь, Чулым), VI — Юго-западный

Рис. 1. Связь водоносности ($Q_{\text{ср}}$) и порядка (N) рек Западной Сибири.

a — все реки бассейна; b — Иртыш (I) и Обь (II), v — районы, объединяющие крупные и средние реки Западной Сибири: 1 — Северный, 2 — Правобережье Оби, 3 — Зауралье (левобережье Иртыша), 4 — Обь-Иртышское междуречье, 5 — Юго-восточный, 6 — Юго-западный.



Рис. 2. Районирование Западной Сибири по зависимости характеристик стока рек от структуры речной сети.

Районы: 1 — Северный, 2 — Правобережье Оби, 3 — Зауралье, 4 — Обь-Иртышское междуречье, 5 — Юго-западный, 6 — Юго-восточный, 7 — территория, на которой районирование не проводилось.

(Ишим, Тобол). Это также подтверждается рассчитанным коэффициентом детерминации R^2 между порядком реки и среднегодовым расходом воды для каждого района (он равен от 0,74 до 0,99).

Каждый район описывается уравнением вида

$$Q = ae^{bN},$$

где коэффициенты a и b различаются от района к району (табл. 1). Параметр a отражает общую степень обводненности территории, которая закономерно изменяется. Показатель степени b , который

Таблица 1

Коэффициенты a и b в уравнении $Q = ae^{bN}$ (равнинные реки Западной Сибири)

Коэффициент	Обь	Иртыш	Районы (см. рис. 2)					
			1	2	3	4	5	6
a	0,02	16,4	0,24	1,25	0,005	0,06	0,001	0,13
b	0,73	0,32	0,64	0,48	0,86	0,67	0,96	0,58
R^2	0,90	0,93	0,99	0,74	0,94	0,88	0,99	0,97

изменяется обратным a образом, выражает «крутизну изгиба» связи $Q = f(N)$, т. е. чем многоводнее территория, тем более пологий изгиб связи между $Q = f(N)$.

Достоверность различия районных зависимостей была оценена при помощи непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена при p -уровне 5 %. Она показала, что полученные зависимости значимы (коэффициент изменяется от 0,80 до 0,99).

Полученное районирование подтверждено проведенным ранее исследованием А.Н. Антипова [7] (табл. 2).

Западная Сибирь в силу своего расположения и орографического строения представляет собой довольно обособленную природно-климатическую территорию. Только на самом юге и севере проявляются черты, предопределенные циркуляционными особенностями атмосферы на прилегающих территориях. Ландшафтно-гидрологическое районирование Западной Сибири проводится на основе многих природных факторов: атмосферных осадков, схемы дифференциации подземных вод, речного стока по различным признакам природной структуры речных бассейнов, по типам болотных микроландшафтов, ландшафтно-лимнологических, лесогидрологических и др. Синтез этих материалов А.Н. Антиповым и его соавторами [19] проводился по принципу от высшего к низшему иерархическому пространственному уровню ландшафтно-гидрологической системы. Одним из важнейших признаков ландшафтно-гидрологического анализа территории и ее районирования является пространственно-временная изменчивость атмосферных осадков. В целом для Западной Сибири пространственно-временной анализ атмосферных осадков демонстрирует слабую дифференциацию показателя, который, в первую очередь, определяется типами атмосферной циркуляции, а уже в меньшей степени — местными факторами. Но при этом для Западной Сибири можно выделить три района, имеющих общие особенности: на севере (выше 62° с. ш.) среднегодовые величины осадков уменьшаются к северу и отличаются малой вариабельностью внутри годового хода месячных величин; между 62 и 56° с. ш. отмечается максимум осадков; южнее 56° с. ш. в целом характерно уменьшение осадков на юге, при этом на территории наблюдается некоторая изменчивость показателя с запада на восток.

Другой важный фактор — подземный сток — в пределах Западной Сибири характеризуется частым совпадением границ бассейнов рек с границами стока подземных вод. Причем, на основе анализа закономерностей подземных вод и различных природных характеристик (геолого-геоморфологических и гидроклиматических условий, вечной мерзлоты и пр.) могут выделяться бассейны первого и второго порядков, а учет гидродинамических особенностей, фильтрационных свойств основных водоносных горизонтов и их естественных и эксплуатационных ресурсов — уже более низких порядков. На территории Западной Сибири наблюдается широкий диапазон колебания модулей подземного стока ввиду большого разнообразия гидрологической организации территории, за исключением северных, южных и юго-восточных областей, где сток характеризуется крайне низкими модулями.

Лимнологические особенности территории во многом определяют направленность гидрологических процессов: генетические, морфометрические и другие характеристики озер в совокупности с болотными массивами могут свидетельствовать об определенных воднобалансовых соотношениях, например, о тенденциях к аккумуляции влаги на территории, а также отражать специфический режим водообмена на значительных территориях. Наибольшая вариабельность заозеренности и заболоченности территории присуща лесоболотной зоне, а значительная озерность характерна для лесостепной зоны Западной Сибири. Распространение озер сильно снижено на юго-востоке и, отчасти, на севере территории региона.

Тип водного режима, по М.И. Львовичу [20], на рассматриваемой территории закономерно изменяется с $SxPy$ (преимущественно снеговое питание весной) в ее южной части на $sxeu$ (смешанное питание с преобладанием снегового питания в летний период) в центре и на $ixeu$, $ixEu$ (смешанное питание с преобладанием грунтового стока летом) на севере.

Ввиду слабой пересеченности рельефа и сравнительно небольших колебаний относительных высот Западно-Сибирская равнина имеет отчетливо выраженную зональность ландшафтов — от тундровых на севере до степных на юге. На фоне переходного характера ее климата от умеренно континентального, присущего Русской равнине, к резко континентальному в Средней Сибири наблюдается некоторое смещение к северу природных зон и их относительная внутренняя однородность, а также отсутствие широколиственных лесов. По причине слабой дренированности территории в пределах Западно-Сибирской равнины очень большую роль играют широко распространенные в ее пределах гидроморфные комплексы.

Но в целом для всей Западной Сибири определяющим фактором гидрологической организации являются геолого-геоморфологические условия территории, к которым на севере добавляется вечная

Таблица 2

Ландшафтно-гидрологические характеристики районов Западной Сибири

Район	Реки	Ландшафтно-гидрологическая провинция по А.Н. Антипову [7, 19]	Гидрогеологические условия [7, 19]	Лимнологические условия [7, 19]	Классификация рек по М.И. Львовичу [20]*	Ландшафтная провинция [21]	Скорости размыва берегов рек: $C_{ср}$ и $C_{макс}$ м/год [17]
1	2	3	4	5	6	7	8
Обский	Обь	Чулымская, Кулундинская, Омская, Демьяно-Васюганская, Тара-Чайская, Тым-Кетская, Юганская, Казымно-Назымская, Полу-ийская	Весь Западно-Сибирский артезианский бассейн	Количество озер варьирует от 200 до 800 тыс. Наибольшая озерность территории достигается в верховьях Ваха, Тыма, Лямина и Налыма – до 40–50 %. В бассейне находится сама крупная в мире система болот – Васюганские болота	С юго-востока на северо-запад водный режим Оби изменяется по источнику питания и распределению стока в течение года следующим образом: $SxPy$, $sxey$, $ixey$, $ixEy$	Верхнеобская, Васюганская, Среднеобская, Обско-Тазовская, Нижнеобская	1,2–3,1 до 26,6
Иртышский	Иртыш	Чанская, Камышловская, Омская, Сална-имская, Верхнева-гайская, Тара-Чайская, Демьяно-Васюганская, Носкин-ганская, Юганская, Кондинская	Модуль стока варьирует от 0,05 до 0,65 л/(с·км ²) на юге, на севере – 1,3–1,7 л/(с·км ²)	Большая вариативность озерности и заболоченности по территории	С юга на север водный режим Иртыша изменяется по источнику питания и распределению стока в течение года следующим образом: $SxPy$, $sxey$	Среднеиртышская, Ишимская, Нижне-тобольская, Кондинская	1,3–5,5 до 17,2
Северный	Полуй, Налым, Пур, Таз, Северная Сосьва, Конда	Кондинская, Северная Сосьвинская, Полуийская, Налымская, Пурская, Тазовская	Коэффициент подземного стока рек не превышает 10 %. На юге – до 1,3–1,7 л/(с·км ²)	Средняя озерность бассейна Конды 13,7 %. В бассейне Полуйа от 0,1 до более 4 %, в бассейне Таза – менее 3 %. Заболоченность около 4 %. Дополнительно долина р. Пура отличается повышенной – до 59 % –заболоченностью	Конда и верховья Полуйа, Налыма и Пура характеризуются $ixey$; остальная часть бассейнов Полуйа, Налыма и Пура относятся к $ixEy$; нижнее течение Северной Сосьвы и бассейн Таза – $sxey$.	Кондинская, Северо-Сосьвинская, Обско-Тазовская, Верхнеобская, Нижнеобская; Налым-Пурская; Енисейско-Тазовская; Сибирских увалов	1,4–2,2 до 5,2
Правобережье Оби	Казым, Налым, Тромьеган, Аган, Вах, Тым, Кеть	Тым-Кетская, Аганская, Казымно-Назымская	Модули подземного стока преимущественно варьируют от 2,4 до 3,2 л/(с·км ²)	К северу, в бассейне Казыма и верховьях Агана, сохраняется высокая озерность (в долине Казыма до 4,1 %) и заболоченность. К югу, на оборот, в бассейне Ваха и Кети озерность снижается (около 2,4 %), но заболоченность высокая – в среднем 43 %	Для почти всех рек района водный режим характеризуется $ixey$; только бассейн Кети отличается $Sxey$	Приенисейская, Среднеобская, Сибирских увалов	1,3–2,1 до 5,2

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Зауралье (левобережье Иртыша)	Тавда, Тура	Туринская	Модуль подземного стока варьируется от 0,05 до 0,65 л/(с·км ²)	На севере района преобладают грядово-мочажинные микроландшафты, озерность не превышает 2 %. На юге озерность несколько выше — 3,1 %	В верхнем и среднем течении Тавды и Туры водный режим характеризуется соответственно: <i>хху</i> и <i>ххРу</i> . В нижнем течении обеих рек он становится <i>СхРу</i>	Подуральская, Нижнетобольская, Кондинская	1,9–2,0 до 7,1
Обь-Иртышское междуречье	Большой Юган, Тара, Демьянка, Васюган, Парабель	Тара-Чайская, Демьяно-Васюганская, Юганская	Модули стока изменяются в пределах 1,0–1,3 л/(с·км ²). Южнее модули подземного стока снижаются — 0,05 до 0,4 л/(с·км ²)	Озерность невелика — 2,4 %, но заболоченность высокая — в среднем 43 %. На юго-востоке района озерность территории снижается (около 1 %). На юге, в верховьях р. Тары, заболоченность несколько возрастает, а озерность, наоборот, снижается	Почти для всей территории характерны реки с типом водного режима <i>хху</i> ; только на самом юге, в бассейне Таре тип сменяется на <i>СхРу</i>	Васюганская, Среднеобская	1,2–1,7 до 4,2
Юго-восточный	Чулым, Томь	Чулымская	Модули подземного стока составляют от 1,0 до 2,3 л/(с·км ²). В верховьях рек отмечаются крайне низкие модули подземного стока	Для района отмечается практически полное отсутствие озер и болот	Реки имеют тип водного режима <i>СхРу</i>	Чулымско-Енисейская	2,4–3,6 до 12,7
Юго-западный	Тобол, Ишим	Носкинская, Туринская, Пышменская, Исетская, Салнаимская	На севере модуль подземного стока варьируется от 0,05 до 0,65 л/(с·км ²), на юге — крайне низкие модули стока	На север района озерность не превышает 1 %. Левобережье р. Тобол имеет среднюю озерность 5,7 %. На Тобол-Иртышском междуречье отмечена высокая степень озерности (25,5 %)	Реки имеют тип водного режима <i>СхРу</i>	Ишимская, Нижнетобольская	до 2,2 до 6,8

* *СхРу* — преимущественно снеговое питание (>50 %) со стоком преимущественно весной (>50 %), *ххРу* — смешанное питание с преобладанием снегового стока (<50 %) со стоком преимущественно весной (>50 %), *хху* — преимущественно снеговое питание (>50 %) со стоком во все сезоны (<50 %), с преобладанием летнего, *ххЕу* — смешанное питание с преобладанием снегового стока преимущественно летом (>50 %), *хху* — смешанное питание с преобладанием снегового стока во все сезоны (<50 %), с преобладанием летнего, *ххЕу* — смешанное питание с преобладанием грунтового стока преимущественно летом (>50 %), *хху* — смешанное питание с преобладанием грунтового во все сезоны (<50 %), с преобладанием летнего стока.

мерзлота, в лесоболотной зоне — свойства болотных систем, сказывающиеся на уменьшении озерности этой территории; южные районы находятся под влиянием засушливого климата.

А.Н. Антиповым [7] ландшафтно-гидрологическое районирование Западной Сибири было проведено на двух основных уровнях — зональном и провинциальном. В рамках Западно-Сибирского субконтинента, который в целом совпадает с Обь-Иртышским речным бассейном, выделены шесть ландшафтно-гидрологических систем зонального уровня, которые имеют равнинный и предгорно-возвышенный варианты внутренней гидрологической упорядоченности. Первый вариант имеет широтную ориентацию подсистем, второй — субмеридиональную, приуроченную к крупным орографическим поднятиям. Исследуемые равнинные реки относятся к зонам Обь-Иртышского лесоболотного низинно-аккумулятивного, Северо-Казахстанского аридного бессточного озерно-аккумулятивного, Зауральского высокого речного дренированного и Предалтайского предгорного слабодренированного комплексов.

Лесоболотный комплекс включает большую часть Обь-Иртышского бассейна, а также бассейны северных рек (Надым, Пур и Таз) и представляет собой гигантскую низинно-аккумулятивную систему. Он приурочен к тектоническому понижению, где и сформировалась болотно-озерная система, слабо дренируемая речной сетью. Тем не менее в его ареале имеет место значительное число различных гидрологических рубежей, выделенных в схемах частных районирований, например, по Сибирским увалам, по широтному отрезку рек Оби и Ваха, по широте от устья р. Демьянки, по нижнему Иртышу, разделяющему зональную систему на два крупных обособленных участка — левобережный низинный и правобережный — Васюганский.

Весьма сложная картина имеет место в переходной зоне от лесоболотных комплексов к лесостепным, что соответствует полной смене гидрологической организации территории и появлению временных водотоков в сочетании с озерно-аккумулятивными системами. Южный комплекс, включающий юго-запад рассматриваемой территории, характеризуется повышенной ролью режима увлажнения, где даже незначительные пространственные изменения в количестве атмосферных осадков имеют большое значение, дополнительное влияние оказывает степень заозеренности территории.

Подгорные возвышенные провинции на территории Западной Сибири, к которым относятся реки, включенные в северный и юго-восточные районы, характеризуются разными вариантами тепло- и влагообеспеченности, режима дренированности. Так, Зауральская система менее увлажнена, чем восток территории, и в то же время более дренируема речными потоками, чем бассейны Томи и Чулыма.

Связь ландшафтно-гидрологического районирования и размывов берегов на реках Западной Сибири. В ходе исследования было проведено сравнение полученного варианта ландшафтно-гидрологического районирования с картой «Районирование Обь-Иртышского бассейна по условиям размыва берегов» (рис. 3) [17], которые имеют некоторую схожесть между собой. В целом для лесной зоны Обь-Иртышского бассейна характерно общее снижение интенсивности размыва берегов с юго-востока на северо-запад. Это связано с увеличением в этом направлении естественной зарегулированности стока болотами и озерами, появлением вечной мерзлоты в северных районах, а также сменой внутригодового распределения стока (снеговое питание весной на юге и в Зауралье и грунтовое питание летом на севере) ввиду изменения температурного режима, режима осадков и гидрогеологического строения территории.

Одни из максимальных скоростей размыва берегов наблюдаются на юго-востоке региона (см. рис. 2, ландшафтно-гидрологический район 6), включающем бассейны Томи и Чулыма (см. рис. 3, район I), которые берут начало в горах и протекают по хорошо расчлененной территории, сложенной рыхлыми отложениями. При этом для данной территории степень естественной зарегулированности стока минимальна (отмечается практически полное отсутствие озер и болот), что обеспечивает концентрацию стока воды в русле, в том числе в половодье, и тем самым одни из самых высоких скоростей размыва берегов. В среднем русла указанных рек здесь смещаются со скоростями 2,4 и 3,3 м/год (максимальные — до 6,5 и 12,7 м/год соответственно) [17].

Правобережье Оби (см. рис. 3, районы II, III и часть IV), которое относится ко второму ландшафтно-гидрологическому району (см. рис. 2), включает бассейны рек Кети, Тыма, Ваха, Тромьегана, Агана, Лямина, Назыма и Казыма. Для них средние скорости размыва берегов колеблются от 1,5 до 1,9 м/год [17], снижаясь с юго-востока на северо-запад. Общее снижение динамики переформирования русел обусловлено, в первую очередь, уменьшением в том же направлении степени расчлененности рельефа и увеличением зарегулированности стока за счет широкого распространения озер (до 40 % в бассейнах Тромьегана и Лямина) и болот, но в то же время повсеместное распространение песчаных отложений является причиной проявления экстремальных размывов (до 8,9 м/год) [17]. Северный район (см. рис. 3, ландшафтно-гидрологический район I), в который входят исследованные

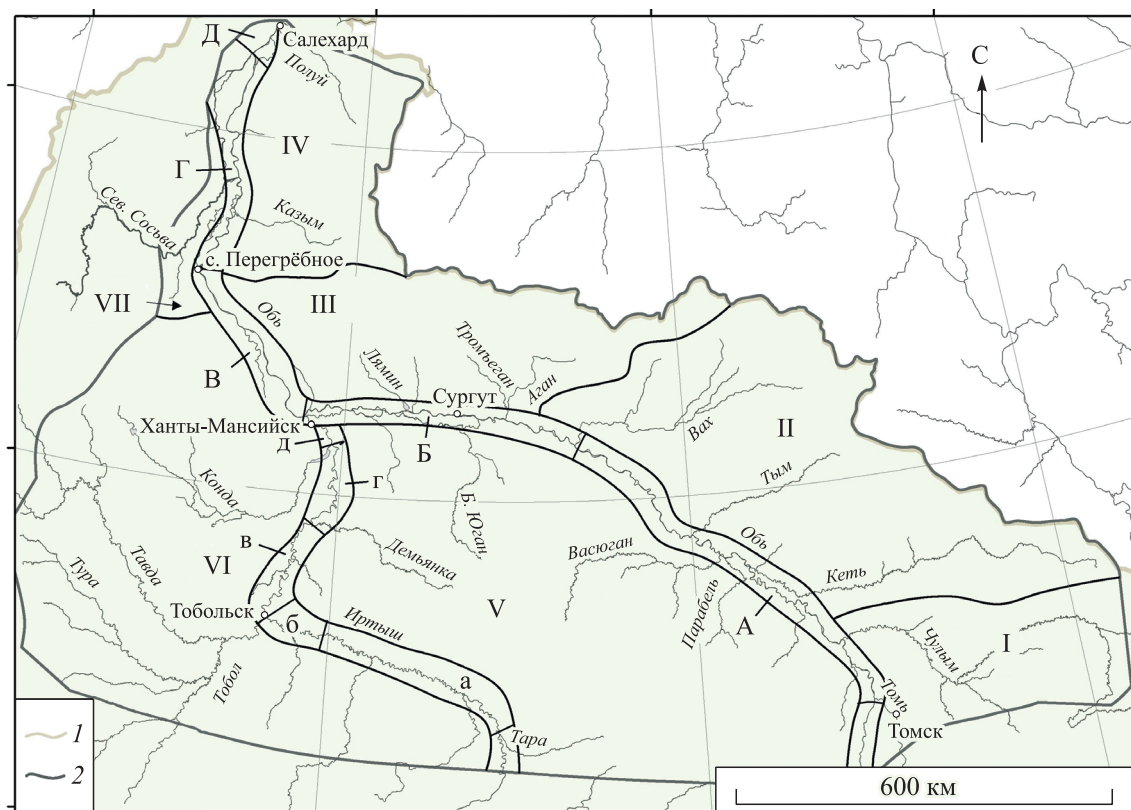


Рис. 3. Районирование Обь-Иртышского бассейна по условиям размыва берегов.

Участки Оби: А — от слияния с р. Томью до устья р. Ваха, Б — от устья р. Ваха до слияния с р. Иртышом (широтный), В — от слияния с р. Иртышом до разделения на Малую и Горную Обь, Г — развоенное русло нижней Оби, Д — от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда. Участки Иртыша: а — от устья р. Тары до 850 км, б — от 850 км до слияния с р. Тоболом, в — от слияния с р. Тоболом до устья р. Демьянки, г — от устья р. Демьянки до устья р. Конды, д — от устья р. Конды до слияния с Обью. Районы, объединяющие притоки рек: I — Юго-восточный — реки Томь и Чулым; II — Восточный — реки Кеть, Тым и Вах; III — Центральный — реки Тромьган, Аган и Лямин; IV — Северо-восточный — реки Казым и Полуй; V — Южный — реки Парабель, Васюган, Большой Юган и Демьянка; VI — Западный — реки Тобол, Тура, Тавда и Конда; VII — Северо-западный — река Северная Сосьва. Границы: 1 — Обь-Иртышского бассейна, 2 — равнинной части лесной зоны Обь-Иртышского бассейна.

ранее реки Полуй, Северная Сосьва и Конда (см. рис. 2, районы IV, VI, VII), характеризуется некоторым разбросом величин динамики русловых деформаций. Средние скорости размыва берегов на них колеблются от 1,4 м/год на Полуде до 2,3 м/год на Северной Сосьве [17]. Это обусловлено широким разнообразием природных условий, формирующих сток воды: расчлененность рельефа, вариативность заозеренности и заболоченности территории, наличие многолетнемерзлых пород и др.

Бассейны Туры и Тавды, относящиеся по ландшафтно-гидрологическому районированию к району 3 (см. рис. 2), а по условиям размыва — к VI (см. рис. 3), располагаются в схожих физико-географических условиях, что объясняет их практически одинаковые темпы отступления берегов (средние — около 2 м/год, максимальные 6–7 м/год) [17]. Несмотря на сильную заболоченность территории и относительно невысокую степень расчлененности рельефа, наличие рыхлых отложений обуславливает высокие темпы размыва берегов.

Одна из самых минимальных скоростей размыва берегов, которые были зафиксированы, приурочена к Обь-Иртышскому междуречью (см. рис. 2, район 4 и рис. 3, район V), где широко распространены болотные массивы, оказывающие большое регулирующее воздействие на сток и, соответственно, на его роль в проявлении темпов размыва берегов. Обь-Иртышское междуречье сильно заболочено (местами до 70 %) и имеет плоский рельеф. Размывы берегов протекающих там рек (Парабель, Васюган, Большой Юган и Демьянка) — одни из самых низких в бассейне: средние скорости в основном до 1,5 м/год, максимальные не превышают 4,4 м/год [17].

Крупнейшие реки бассейна — Обь и Иртыш, будучи полизональными, протекают через несколько ландшафтно-гидрологических районов и характеризуются широкими диапазонами скоростей размыва берегов. Это связано с тем, что наравне с изменяющимися физико-географическими условиями формирования стока по длине рек большую роль играют такие факторы, как рассредоточение стока в рукавах разветвлений, влияние коренных берегов, распространение типов русла и морфологически однородных участков, параметры их форм и т. д.

Но для более полного сравнения полученного варианта ландшафтно-гидрологического районирования и закономерностей распространения размываемых берегов равнинных рек Западной Сибири необходимо проводить дальнейшие исследования и дополнять сформированную базу по размывам берегов на реках Обь-Иртышского бассейна данными по северным и южным рекам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Размывы берегов представляют собой опасное проявление русловых процессов. Они могут привести к аварийным ситуациям и вывести из эксплуатационного состояния коммуникации, инженерные сооружения, хозяйственные и другие объекты, расположенные на берегах и в руслах рек. Особенно большое значение оценка размывов берегов рек имеет для Западной Сибири как важнейшего нефтегазового региона страны, где отступления берегов встречаются повсеместно.

Определение факторов, которые влияют на распространение размывов берегов и их темпы, имеет большое значения для анализа и прогнозирования опасных проявлений русловых процессов. Одним из таких подходов, учитывающих природные условия, которые влияют на горизонтальные деформации русла, является ландшафтно-гидрологический. В его основе лежит исследование формирования одного из ведущих факторов — стока воды — на основе не только данных о геолого-геоморфологических условиях формирования русла, но и гидроклиматических, гидрогеологических, лимнологических и многих других. Один из проверенных способов учета гидрологического фактора — это выявление связи между стоком воды и порядком, последний из которых учитывает изменение размеров реки и расходов воды вниз по течению, а соответственно, может проследивать влияние на размывы берегов по длине реки. На равнинных реках Западной Сибири такие исследования были проведены впервые. До этого отчасти схожий ландшафтно-гидрологический анализ переформирования русла был проведен только на участке среднего течения р. Оби и в бассейне р. Конды. Также связь между природными условиями и морфологией русла была подтверждена через ландшафтно-гидрологическое районирование на реках Приморского края.

Таким образом, ландшафтно-гидрологическое районирование имеет большие перспективы для исследования русловых процессов и их опасных проявлений, особенно на обширных по площади территориях с недостаточным или полным отсутствием данных, а также позволяет решать водохозяйственные и иные практические задачи.

Работа выполнена по планам НИР (государственное задание) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (121051100166-4) при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 23-77-01006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. — М.: Изд-во ЛКИ, 2008. — 608 с.
2. Субботин А.И., Змиева Е.С., Нежевенко В.П., Мамай И.И. Ландшафтно-гидрологический принцип изучения стока // Ландшафтный сборник. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. — С. 175–189.
3. Gao H., Sabo J.L., Chen X., Liu Z., Yang Z., Ren Z., Liu M. Landscape heterogeneity and hydrological processes: a review of landscape-based hydrological models // Landscape Ecol. — 2018. — Vol. 33. — P. 1461–1480.
4. Stephens C.M., Lall U., Johnson F.M., Marshall L.A. Landscape changes and their hydrologic effects: Interactions and feedbacks across scales // Earth-Science Reviews. — 2021. — Vol. 212. — P. 103466.
5. Антипов А.Н., Фёдоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. — Новосибирск: Сиб. отд. РАН, 2000. — 250 с.
6. Короткий Л.М., Гагаринова О.В., Ильичева Е.А., Кичигина Н.В. Развитие сибирской ландшафтно-гидрологической школы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2018. — № 4. — С. 92–106.

7. **Антипов А.Н.** Ландшафтно-гидрологическая организация территории в условиях Сибири: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — М.: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. — 56 с.
8. **Бураков Д.А., Земцов В.А.** Исследование и расчеты характеристик стока рек лесной зоны Западно-Сибирской равнины // Теория и методы гидрологических расчетов: Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 6. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — С. 429–436.
9. **Корытный Л.М.** Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 2. — С. 5–16.
10. **Коркин С.Е., Исыпов В.А., Коркина Е.А.** Ландшафтно-гидрологическая организация территории Среднего Приобья с анализом эрозионных процессов // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования: Материалы Междунар. науч.-практич. конф., посвященной памяти члена-корреспондента РАН А.Н. Антипова, Иркутск, 23–27 сентября 2019 г. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2019. — С. 137–141.
11. **Середовских Б.А., Исыпов В.А.** Ландшафтно-гидрологический анализ геоэкологической ситуации в бассейне реки Конды // Экология речных бассейнов: Тр. 11-й Междунар. науч.-практич. конф., Суздаль, 25–28 сентября 2023 г. — Владимир, 2023. — С. 95–109.
12. **Гарцман Б.И., Шамов В.В., Губарева Т.С.** Речные системы Дальнего Востока России: четверть века исследований. — Владивосток: Дальнаука, 2015. — 492 с.
13. **Атлас Ханты-Мансийского автономного округа** — Югры. Т. 2. Природы и экологии Ханты-Мансийского АО / Ред. В.А. Дикунец, Т.В. Котова, В.Н. Макеев, В.С. Тикунов. — Ханты-Мансийск: Изд-во Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, 2005. — 152 с.
14. **Национальный атлас России.** Т. 2. Природа. Экология / Ред. А.В. Бородко. — М.: Изд-во «Картография»; Роскартография, 2007. — 496 с.
15. **Михайлов Н.И.** Природа Сибири (географические проблемы). — М.: Мысль, 1976. — 158 с.
16. **Воскресенский С.С.** Геоморфология СССР — М.: Высшая школа, 1968. — 368 с.
17. **Куракова А.А.** Гидролого-морфодинамический анализ русел и опасные проявления русловых процессов на равнинных реках Обь-Иртышского бассейна (лесная зона): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2022. — 28 с.
18. **Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г.** Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География, общество и окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействия атмосферы и гидросферы. — М.: Городец, 2004. — С. 345–412.
19. **Антипов А.Н., Вакулин К.Ю., Гагаринова О.В.** Ландшафтно-гидрологические характеристики Западной Сибири. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1989. — 221 с.
20. **Львович М.И.** Опыт классификации рек СССР // Тр. ГГИ. Вып. 6. — Л.: Гидрометеиздат, 1938. — С. 58–108.
21. **Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.** Физическая география СССР. Азиатская часть. — М.: Мысль, 1978. — 512 с.

Поступила в редакцию 09.01.2024

После доработки 10.04.2024

Принята к публикации 11.07.2024