

УДК 504.4.062.2

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ БЕССТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

© 2023 г. И. Д. Рыбкина<sup>а, \*</sup>, Н. В. Стоящева<sup>а</sup>, Н. Ю. Курепина<sup>а</sup>, А. В. Головин<sup>а</sup>,  
Е. Ю. Седова<sup>а</sup>, О. В. Машкина<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

<sup>б</sup>АСТеон, French consulting and research company, Кольмар, Франция

\*e-mail: irina.rybkina@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

После доработки 22.08.2022 г.

Принята к публикации 28.12.2022 г.

Оценка антропогенной нагрузки на малые реки бессточной области Обь-Иртышского междуречья выполнена по показателям прямых (организованных) и косвенных (диффузных) воздействий. Для оценки выбраны методики, которые прошли апробацию в географических и гидрологических исследованиях. Детализация и верификация полученных результатов оценки осуществлена с применением данных дистанционного зондирования, полевых исследований, химико-аналитических и статистических методов. Оценка показала, что преобладают источники диффузного загрязнения водных объектов: территории сельских населенных пунктов, животноводческие фермы (комплексы), участки выгула домашнего скота и птицы, свалки хозяйственно-бытового мусора и твердых коммунальных отходов. Отмечается бо́льший уровень нагрузки в пределах бессточной области Алтайского края в сравнении с Новосибирской областью, что связано с более интенсивным развитием аграрного сектора региона. Инвентаризация источников антропогенных воздействий методами дистанционного зондирования выявила трудности определения действующих объектов и видов их использования, несовпадение количества животноводческих комплексов, выделенных с помощью реестра организаций и путем визуального дешифрирования космических снимков. Анализ расчетных данных нагрузок фосфора и азота на отдельные водные объекты подтвержден оценками, проведенными на основе результатов полевых гидрологических и гидрохимических исследований.

*Ключевые слова:* водосборные территории, инвентаризация источников загрязнения, животноводческие комплексы, нагрузка фосфора и азота, гидрохимический анализ, дистанционное зондирование

DOI: 10.31857/S2587556623020085, EDN: KFYTYT

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Возрастающие антропогенные нагрузки на водные объекты и их водосборные территории (речные и озерные бассейны) находят отражение в характеристиках водных ресурсов, которые используются в хозяйственно-питьевых и производственных целях. В связи с этим крайне важно научиться регулировать воздействия.

В гидрологии и географии существуют различия в подходах к оценке антропогенных воздействий на водные объекты. В географии, ландшафтной экологии и биогеохимии под антропогенной нагрузкой чаще всего подразумевают количественную меру воздействия человека, его экономической деятельности на ландшафты, компоненты окружающей среды и водосборные территории. При этом используются показатели именно воздействия – численность и плотность населения, распаханность территории, животноводческая нагрузка, соотношение площадей при-

родных и антропогенно-преобразованных ландшафтов, привнос удобрений и химикатов и др. (Исаченко, 1997, 2001; Кочуров, 2003; Кочуров и др., 2016; Отто, Оточкина, 2016; Оценка ..., 1985; Рыбкина, 2005; Сороковикова, 1993; и др.). В сравнительном анализе, как правило, применяются балльная оценка или нормирование количественных показателей воздействия.

В гидрологии антропогенные воздействия изучаются с позиций изъятия водных ресурсов и сброса сточных вод, оценки качества вод и уровня загрязнения водных объектов, изменения их гидрологического режима и водности (Водные ..., 2008; Данилов-Данильян, Лосев, 2006; Демин и др., 2015; Королев и др., 2007; Коронкевич, Мельник, 2015; Корытный, Безруков, 1990; Потапов, 2000; Румянцев и др., 2021; Селезнев, 2021; Селезнева, 2003; Стоящева, 2015; Шикломанов, 1979, 1989; Ясинский и др., 2020). Список работ обширен,

научное обобщение результатов представлено в работе Н.И. Коронкевича с авторами (2017).

Рассматриваются как традиционные антропогенные воздействия (гидротехническое строительство, водозабор на различные цели), так и косвенные, осуществляемые на водосборах через почву, растительность, рельеф. Всю совокупность антропогенных воздействий можно условно разделить на прямые (организованные) и косвенные (опосредованные), точечные и диффузные, сосредоточенные и рассредоточенные. Большинство исследователей сходится во мнении о том, что диффузные (рассредоточенные) источники могут оказывать весьма существенное воздействие, а в некоторых случаях и определяющее влияние на качество воды в поверхностных и подземных водных источниках (Данилов-Данильян и др., 2020). При этом сокращение объемов сбрасываемых вод не ведет к адекватному улучшению качества вод, и состояние большинства водных объектов остается неудовлетворительным (Демин, 2020).

Для анализа и оценки прямых воздействий и диффузного стока с водосборов речных бассейнов разработаны методические приемы, позволяющие учесть нагрузку на водные объекты через коэффициенты изъятия или использования вод, кратности разбавления сточных вод ресурсами речного стока, водного стресса, показатели стока биогенных элементов и др. В настоящей работе предпринята попытка объединить указанные подходы, используя современные методы анализа (статистический, дистанционного зондирования, полевых исследований, химико-аналитический и другие).

Объектом исследования выступили речные бассейны Обь-Иртышского междуречья на территории общей площадью порядка 190 тыс. км<sup>2</sup> в пределах Новосибирской области и Алтайского края. Отметим, что реки междуречья имеют слабую степень изученности и охвата гидрометеорологическими наблюдениями. Основные из них – рр. Каргат, Чулым, Карасук, Кучук, Кулунда, Бурла – отличаются незначительной водностью, протекают по засушливой территории и впадают в бессточные озера, образуя озерно-речные системы междуречья, самыми крупными из которых являются системы озер Чаны и Кулундинское (Цимбалей, Андреева, 2015). Многолетнее использование территорий этих бассейнов в сельскохозяйственных целях накладывает определенный отпечаток на особенности антропогенных воздействий и качество воды водных объектов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Любой бассейн реки представляет собой систему, взаимосвязь между элементами которой

обеспечивает речной поток, а качество воды, в свою очередь, зависит от процессов, происходящих на всем водосборе. Антропогенное воздействие на водные объекты складывается из прямой нагрузки, обусловленной забором воды и сбросом сточных вод в водные объекты, а также косвенной, связанной с хозяйственной деятельностью на территории водосборного бассейна.

Прямые воздействия определялись на основе расчета коэффициента использования водных ресурсов и показателя водного стресса [*water stress* (Global water ..., 2014; Schlosser et al, 2014; WWAP, 2015)], а также нагрузки сточными водами через определение кратности разбавления сточных вод или в английской интерпретации – *ratio dilution* (Королев и др., 2007; Орлов и др., 2014; Селезнева, 2003; Bibikova, 2011). Коэффициент использования водных ресурсов – это отношение забора воды из поверхностных водных источников к доступным возобновляемым водным ресурсам (среднегодовое, а также минимальные значения речного стока). Если коэффициент менее 10%, то водный стресс не наблюдается, от 10 до 20% – существует слабая нехватка воды, 20–40% – умеренная, превышение 40% означает высокий уровень вододефицита (Данилов-Данильян, Лосев, 2006). Показатель нагрузки сточными водами – кратность разбавления сточных вод – определялся как отношение объема речного стока реки-приемника к объему сточных вод (число раз).

Количественные показатели, характеризующие современное водопользование на территории муниципальных образований Обь-Иртышского междуречья, предоставлены в выписке из государственного водного реестра (ГВР), подготовленной отделами водных ресурсов по Алтайскому краю и Новосибирской области Верхне-Обского бассейнового водного управления (БВУ).

Косвенные воздействия на водные объекты оказывают антропогенные нагрузки на водосборе, являющиеся следствием заселенности и хозяйственной освоенности территории, специализации экономики. В основе оценки уровня антропогенной нагрузки (АН) на водосборную территорию положена методика А.Г. Исаченко (2001), существенно дополненная и переработанная авторами (Рыбкина и др., 2011). При этом использованы такие показатели, как плотность населения на водосборе, плотность промышленного производства [по (Одессер, 1991)] (объем производимой промышленной продукции в тыс. руб., приходящийся на 1 км<sup>2</sup>), а также сельскохозяйственная освоенность, включая распаханность (%) и животноводческую нагрузку (количество условных голов крупного рогатого скота (КРС) на 1 км<sup>2</sup>). Методика прошла апробацию на территории бассейнов рр. Оби, Иртыша, Енисея, Ангары, полученные на ее основе результаты одобрены водо-

**Таблица 1.** Шкала основных показателей антропогенной нагрузки

Показатель	Уровень нагрузки (баллы)							
	незначительная или отсутствует (1)	очень низкая (2)	низкая (3)	пониженная (4)	средняя (5)	повышенная (6)	высокая (7)	очень высокая (8)
Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	0	≤ 0.1	0.2–1.0	1.1–5.0	5.1–10.0	10.1–25.0	25.1–50.0	>50.0
Распаханность, %	0	≤ 0.1	0.2–1.0	1.1–5.0	5.1–15.0	15.1–40.0	40.1–60.0	>60.0
Животноводческая нагрузка, усл. гол./км <sup>2</sup>	0	≤ 0.1	0.2–1.0	1.1–2.0	2.1–3.0	3.1–6.0	6.1–10.0	>10.0
Плотность промышленного производства, тыс. руб./ км <sup>2</sup>	0	≤ 10.0	10.1–100.0	100.1–1000.0	1000.1–3000.0	3000.1–4000.0	4000.1–5000.0	>5000.0

Составлено по: (Рыбкина и др., 2011).

хозяйственными структурами субъектов Федерации и территориальными органами Росводресурсов, вошли в состав отдельных проектных документов.<sup>1</sup>

Расчеты всех величин производились с административной привязкой в границах водосборных бассейнов. Используемые показатели сгруппированы по видам антропогенных воздействий – демографических, промышленных и сельскохозяйственных. Поскольку регион исследования имеет аграрную направленность, а промышленность представлена главным образом переработкой сельскохозяйственного сырья, приоритетными являются демографические и сельскохозяйственные показатели. Из-за монотонности аграрного воздействия весовые коэффициенты дополнительно не вводились, в расчетах использованы величины, определяющие интенсивность земельной (распаханность) и животноводческой нагрузки. Итоговая сельскохозяйственная нагрузка представляет собой их среднеарифметическое значение в баллах. *Совокупная антропогенная нагрузка* рассчитывается как среднеарифметическое значение баллов трех видов воздействия. Для каждого из показателей принимается условная восьмибалльная шкала интенсивности (табл. 1). Интенсивность антропогенной нагрузки варьирует от категории “незначительная или отсутствует” (1 балл) до “очень высокая” (8 баллов).

Оценка уровня антропогенной нагрузки на территории водосборных бассейнов выполнена на основе официальных статистических данных

<sup>1</sup> Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Обь. Утв. приказом Нижне-Обского БВУ от 25.08.2014 г. № 285; Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Енисей. Утв. приказом Енисейского БВУ от 19.06.2014 г. № 94; Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Ангара, включая оз. Байкал. Утв. приказом Енисейского БВУ от 20.11.2014 г. № 183.

муниципальных образований Росстата<sup>2</sup>. Для анализа динамики плотности населения использовались материалы переписей населения 1970 и 1989 гг.

Основное количество загрязняющих веществ в исследуемом регионе поступает не от крупных водопользователей, осуществляющих забор воды и сброс сточных вод в водные объекты (информация о них представлена в формах ГВП), а от средних и мелких предприятий путем привноса загрязняющих веществ с плоскостным смывом. Для определения уровня антропогенной нагрузки на водные объекты за счет плоскостного (диффузного) смыва загрязняющих веществ – фосфора и азота – с водосбора выполнен расчет количества загрязняющих веществ, поступающих от животноводства ( $L_{an}$ ) по формуле<sup>3</sup>:

$$L_{an} = \sum_j k_j j N_j,$$

где  $k_j$  – коэффициент эмиссии вещества от одного домашнего животного  $j$ -го наименования,  $N_j$  – количество домашних животных.

Нормативные значения коэффициентов  $k_j$  для различных домашних животных и птицы по фосфору ( $P_{общ}$ ) и азоту ( $N_{общ}$ ) заимствованы в работах (Васильев, Филиппова, 1988; Минеев, 2004).

Проведена также инвентаризация источников поступления загрязняющих веществ (в основном животноводческих хозяйств) методами дистанционного зондирования с применением соответствующего программного обеспечения и космоснимков, полученных сканирующими системами

<sup>2</sup> База данных муниципальной статистики Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения 10.12.2021).

<sup>3</sup> Ладога / ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 468 с.; Минеев В.Г. Агрехимия: Учеб. М.: Изд-во “Колос”, 2004. 720 с.

Landsat 8 и Sentinel-2, и полевых обследований с отбором проб воды на гидрохимический анализ.

Для уточнения мест размещения животноводческих комплексов составлен реестр организаций, занимающихся животноводством (разведением крупного рогатого скота, свиней, птицы, овец и коз). Данные по видам деятельности получены на сайте Федеральной налоговой службы<sup>4</sup> из единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства.

По юридическому адресу предприятия, адресам выезда проверок (ФГИС<sup>5</sup> “Единый реестр проверок”), отмечены места расположения коровников, свиноферм, птицеферм, ферм с овцами и козами, крестьянских (фермерских) хозяйств. Источники загрязнения были нанесены на карту в программе QGIS. Далее для автоматизации процесса инвентаризации животноводческих комплексов были подобраны космические снимки с целью дальнейшей их классификации. Пространственное разрешение космических снимков оказалось недостаточным для проведения контролируемой и неконтролируемой классификаций, поэтому также были использованы снимки Google Map.

Далее выполнено визуальное дешифрирование космических снимков по прямым (тон, рисунок изображения, размер, форма) и косвенным (растительность, результаты хозяйственной деятельности человека и др.) дешифровочным признакам (Симакова, 2014). Функционирование ферм определялось по наличию в загонах животных, целостности помещений содержания животных, наличия вытоптанной тропы перемещения животных от загонов до места выгула.

Полученные результаты расчета показателей нагрузки сравнивались с результатами химико-аналитического анализа отобранных в ходе полевых обследований проб речных вод. Анализ выполнялся методом атомно-адсорбционной спектроскопии по стандартным методикам в химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Забор воды из поверхностных водных объектов в 2020 г.*, согласно выписке из ГВР, предоставленной отделами водных ресурсов по Алтайскому краю и Новосибирской области Верхне-Обского БВУ, составил суммарно 5.01598 млн м<sup>3</sup>. Основной объем забранных поверхностных вод — 2.67896 млн м<sup>3</sup> (более 73%) — приходился на бассейн р. Чулым, 1.33702 млн м<sup>3</sup> (27%) — на бассейн

р. Кучук. На территории других водосборных бассейнов забор воды из поверхностных водоисточников отсутствовал. Качество использованной воды — техническая. В бассейне р. Чулым вода использовалась для сельскохозяйственного водоснабжения, р. Кучук — на производственные нужды.

*Коэффициент использования водных ресурсов* для р. Чулым в средний по водности год (при значении стока 213.8 млн м<sup>3</sup>) составляет 1.7%, в годы минимальной водности (37.5 млн м<sup>3</sup>) — 9.8%. Коэффициент использования водных ресурсов для р. Кучук в период со среднемноголетними значениями стока (22.1 млн м<sup>3</sup>) составляет 6.1%, с минимальными (5.7 млн м<sup>3</sup>) — 23.6%. Другими словами *водный стресс* не наблюдается, только в годы минимальной водности в бассейне р. Кучук отмечается умеренная нехватка водных ресурсов.

*Объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты* в 2020 г., согласно выписке из ГВР, составил: 3.33884 млн м<sup>3</sup> (16%) — недостаточно очищенные сточные воды (бассейны рр. Баган и Карасук); 2.82078 млн м<sup>3</sup> (84%) — сбросные воды с рыбоводных прудов нормативно чистого качества (р. Чулым).

В поверхностные водные объекты р. Баган поступило 0.08049 млн м<sup>3</sup> недостаточно очищенных сточных вод, нагрузка сточными водами, которая выражается в *кратности разбавления сточных вод водами поверхностных водных объектов*, в средний по водности год (23.0 млн м<sup>3</sup> в створе п. Ярок<sup>6</sup>) достигает 286 раз, в годы минимальной водности (при объеме стока 80% обеспеченности, составляющем 3.86 млн м<sup>37</sup>) — 48 раз.

Объем недостаточно очищенных сточных вод, отведенных в поверхностные водные объекты бассейна р. Карасук, составил 0.43757 млн м<sup>3</sup>, кратность разбавления сточных вод даже при среднемноголетних значениях речного стока (41.3 млн м<sup>3</sup> в створе оз. Баган) — 18 раз. Кратность разбавления нормативно-чистых сточных вод водами р. Чулым в среднемноголетний период составляет 76 раз, в годы минимальной водности (для р. Карасук — даже при среднемноголетних значениях стока) кратность разбавления не превышает 10–20 раз, что явно недостаточно для полного разбавления загрязняющих веществ.

<sup>6</sup> Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. VI. Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 977 с.

<sup>7</sup> Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. VI. Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 977 с.

<sup>4</sup> Сайт Федеральной налоговой службы. <https://rmsp.nalog.ru/index.html> (дата обращения 10.09.2021).

<sup>5</sup> ФГИС “Единый реестр проверок”. <https://proverki.gov.ru/portal> (дата обращения 20.09.2021).



**Таблица 2.** Количество загрязняющих веществ, поступивших со сточными водами в водные объекты бессточной области Обь-Иртышского междуречья в 2020 г. (данные ГВР)

Водный объект	Загрязняющее вещество												
	аммоний-анион, т	железо, кг	нитрат-анион, кг	нитрит-анион, кг	фенол, кг	ХПК, кг	нефтепродукты, кг	сухой остаток, т	фосфаты, т	взвешенные вещества, т	БПК, т	АСПА, кг	всего, т
Баган	0.035	14.479	76.604	3.448	0.800	787.069	0.004	59.959	0.016	0.697	0.225	3.400	61.817
Карасук	0.493	44.523	478.920	28.934	0.766	5190.674	0.030	292.133	0.605	6.957	1.569	20.347	307.521
Всего	0.528	59.002	555.524	32.382	1.566	5977.743	0.034	352.092	0.621	7.654	1.794	23.750	369.339

Нагрузка сточными водами, отходящими от локальных объектов, отчитывающихся по статистической форме 2тп-водхоз, для других водных объектов рассматриваемой территории отсутствует, скорее всего, по причине отсутствия крупных водопользователей.

Всего от организованных источников в 2020 г. в водные объекты бессточной области Обь-Иртышского междуречья с недостаточно очищенными сточными водами поступило 369.34 т загрязняющих веществ (табл. 2), из них в поверхностные водные объекты бассейна р. Карасук – 83% их общего количества, р. Баган – 17%.

Наибольший вклад в загрязнение вод рр. Карасук и Баган вносят: сухой остаток – 352.1 т (из них р. Карасук – 83.0%), взвешенные вещества – 7.7 т (р. Карасук – 90.9%), ХПК – 6.0 т (р. Карасук – 86.8%), БПК – 1.8 т (р. Карасук – 87.5%).

Проведенные расчеты уровня антропогенной нагрузки на территории водосборов позволили выявить дифференциацию антропогенной нагрузки на территорию.

**Демографическая нагрузка.** Численность населения рассматриваемой территории на 1 января 2021 г. составила 603.0 тыс. чел., средняя плотность населения – 4.9 чел. на 1 км<sup>2</sup>, что соответствует пониженному (4 балла) уровню воздействия. Заселена территория относительно равномерно, наибольшая плотность населения отмечается в границах бассейнов рр. Касмала – 8.4 чел./км<sup>2</sup> и Карасук – 7.7 чел./км<sup>2</sup>, а также собственно бессточной области бассейнов оз. Кучукское, Кулундинское, Топольное, Чаны (далее – бессточная область) – 5.2 чел./км<sup>2</sup> (средний уровень нагрузки, 5 баллов). Остальная территория характеризуется пониженным уровнем нагрузки (4 балла). Наименьшая плотность населения фиксируется в бассейнах

рр. Чулым – 2.8 чел./км<sup>2</sup>, Кучук – 3.0 чел./км<sup>2</sup> и Каргат – 3.2 чел./км<sup>2</sup>.

Среди муниципальных образований наиболее плотно заселена территория городского округа г. Яровое – 336.0 чел./км<sup>2</sup> (очень высокая нагрузка, 8 баллов), Славгородского городского округа – 18.7 чел./км<sup>2</sup>, Кулундинского – 10.8 чел./км<sup>2</sup> и Немецкого национального – 10.4 чел./км<sup>2</sup> – районов Алтайского края (повышенная нагрузка, 6 баллов). Наименее плотно – Колыванского района Новосибирской области – 0.8 чел. на 1 км<sup>2</sup> (низкая нагрузка, 3 балла).

Для территории исследования характерно сокращение численности населения – за период с 1970 г. оно составило более 50%. За период с 2010 по 2021 г. сокращение численности населения на территории речных бассейнов составило 24%. Максимальное сокращение наблюдается в бассейне р. Суетка (39%) и р. Кучук (40%), минимальное – в бассейне р. Карасук (16%). Эти данные подтверждаются результатами полевых выездов.

**Промышленная нагрузка** составляет в среднем 433 тыс. руб./км<sup>2</sup> – пониженный уровень, 4 балла. Территории водосборов освоены в промышленном отношении относительно равномерно – от 191.7 тыс. руб./км<sup>2</sup> в бассейне р. Чулым до 678.28 тыс. руб./км<sup>2</sup> в бассейне р. Бурла. Наибольшей промышленной освоенностью отличаются территории городского округа г. Яровое – 10440.8 тыс. руб./км<sup>2</sup> (очень высокая нагрузка, 8 баллов), а также Славгородского городского округа и муниципальных районов Алтайского края: Хабарский, Рубцовский, Благовещенский, Немецкий национальный с плотностью промышленной нагрузки от 1168.0 до 2251.2 тыс. руб./км<sup>2</sup> (средняя нагрузка, 5 баллов). Наименьшая нагрузка – от 15.3 до 93.5 тыс. руб./км<sup>2</sup> (низкая нагрузка, 3 балла) – в Здвинском, Убинском, Чистоозерном

районах Новосибирской области, а также Баевском и Каменском районах Алтайского края.

*Уровень распахки* в отдельных административных районах составляет 60% и более – это Поспелихинский (62.3%), Родинский (63.2%), Кулундинский (67.3%), Табунский (68.4%), Немецкий национальный (75.2%) районы Алтайского края. Менее всего распаханы территории городского округа г. Яровое (2.6%), Чулымского (1.9%) и Убинского (5.0%) муниципальных районов (пониженный уровень нагрузки).

Показатель уровня распахки на территории водосборных бассейнов в целом составляет 27.2% (6 баллов, повышенная нагрузка). Максимальные уровни (7 баллов) отмечаются в границах бассейнов рр. Суетка (42.0%), Барнаулка (44.6%), Касмала (49.1%) и Кучук (59.1%) на территории Алтайского края; минимальные (средний уровень нагрузки, 5 баллов) – в бассейнах рр. Чулым (11.1%) и Каргат (7.0%) Новосибирской области.

*Животноводческая нагрузка.* Уровень животноводческой нагрузки в среднем повышенный – 3.9 усл. гол. скота на 1 км<sup>2</sup>. Максимум (высокая, 7 баллов) отмечается на территории бассейна р. Касмала (6.9 усл. гол./км<sup>2</sup>) и р. Карасук (6.0 усл. гол./км<sup>2</sup>). Минимум нагрузки (пониженная, 4 балла) – в бассейне р. Чулым (1.5 усл. гол./км<sup>2</sup>).

Наибольшая плотность условных голов наблюдается в границах Немецкого национального района – 14.3 усл. гол./км<sup>2</sup> (очень высокая нагрузка, 8 баллов) и еще в девяти районах Алтайского края: Алейском, Завьяловском, Кулундинском, Новочихинском, Ребрихинском, Романовском, Рубцовском, Табунском, Хабарском, а также Баганском, Карасукском и Кочковском районах Новосибирской области – 6.1–9.1 усл. гол./км<sup>2</sup> (высокая нагрузка, 7 баллов). Наименьшая: в Здвинском, Куйбышевском районах Новосибирской области и Каменском районе Алтайского края с животноводческой нагрузкой 0.2–0.7 усл. гол./км<sup>2</sup> (низкая нагрузка, 3 балла).

Итоговая сельскохозяйственная нагрузка оценивается в 6 баллов (как повышенная) с максимумом на территории бассейнов рр. Барнаулка, Касмала, Суетка и Карасук – 7 баллов (высокая) и минимумом в бассейнах рр. Каргат и Чулым – 5 баллов (средняя).

Из 30 рассматриваемых муниципальных образований Алтайского края 15 характеризуются очень высокой (8 баллов – Кулундинский и Немецкий национальный районы) и высокой (7 баллов – Алейский, Завьяловский, Мамонтовский, Новичихинский, Поспелихинский, Ребрихинский, Родинский, Романовский, Рубцовский, Суетский, Хабарский, Шелаболихинский, Ши-

пуновский районы) сельскохозяйственной нагрузкой. Пониженная сельхознагрузка – 4 балла отмечена в пяти районах Новосибирской области (Здвинский, Колыванский, Куйбышевский, Убинский, Чулымский) и городском округе г. Яровое.

Совокупная антропогенная нагрузка в разрезе административно-территориальных образований (рис. 1) изменяется от пониженной (4 балла) до высокой (7 баллов). Наибольших значений она достигает на территории пяти муниципальных образований Алтайского края: городского округа г. Яровое с высоким уровнем нагрузки, Славгородского городского округа, Кулундинского, Рубцовского и Немецкого национального районов – здесь уровень антропогенной нагрузки повышенный.

Наименьшие значения совокупной нагрузки (4 балла) отмечены в девяти районах Новосибирской области: Барабинском, Здвинском, Колыванском и др. и двух районах Алтайского края: Баевском и Каменском.

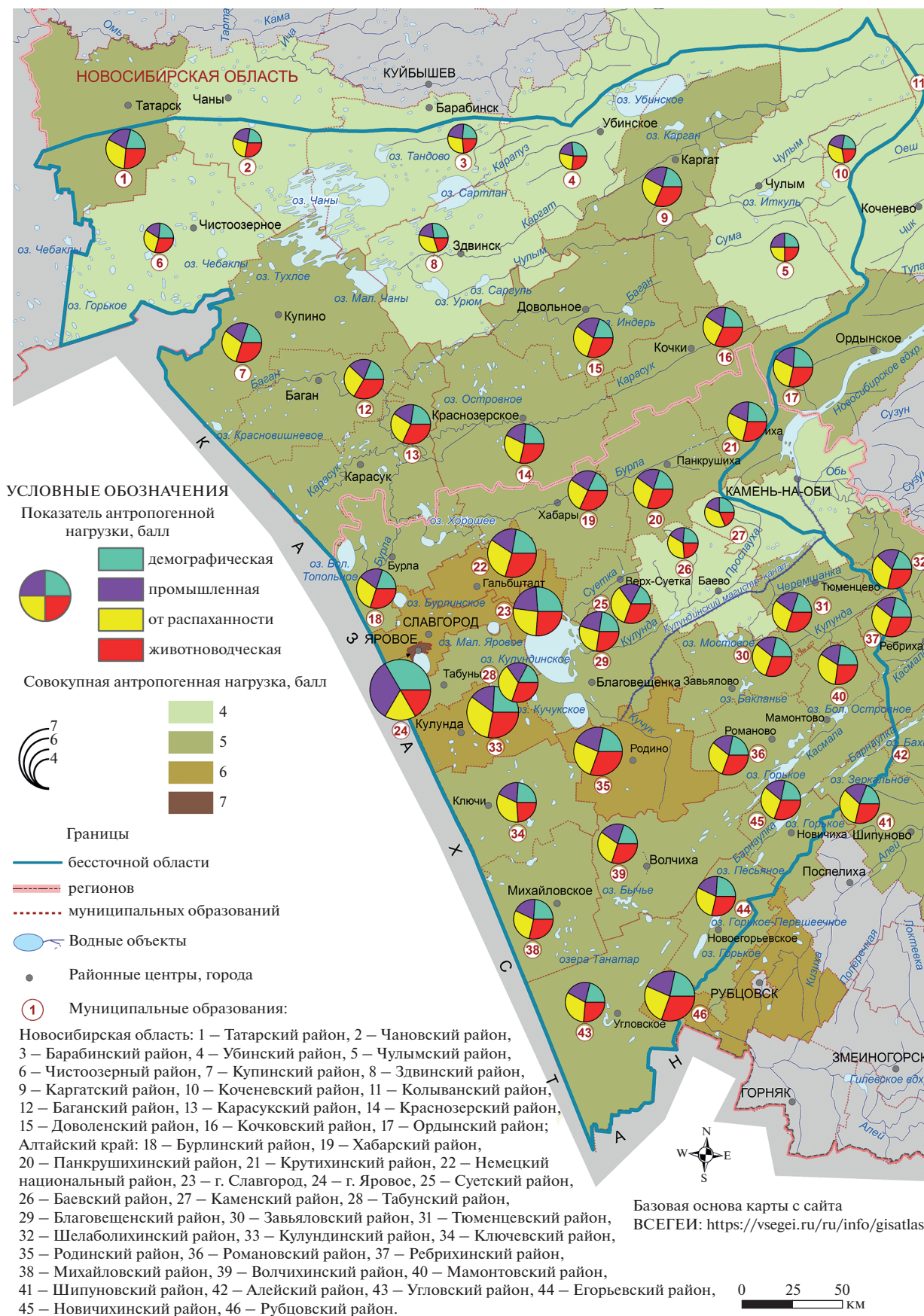
Водосборные территории характеризуются относительно равномерным распределением уровня совокупной нагрузки. Для большинства водосборов, как и для всей территории в целом, он оценивается в 5 баллов (средняя). Исключение составляют только бассейны рр. Чулым и Каргат с пониженным уровнем (4 балла) совокупной антропогенной нагрузки. В пределах Алтайского края уровень нагрузки средний, в Новосибирской области – пониженный (рис. 2).

Нагрузка в бассейнах рек усиливается воздействием объектов твердых коммунальных отходов (ТКО) – временно согласованных и неразрешенных свалок. На рис. 2 приводится далеко неполный, официально известный перечень источников образования отходов. Данные заимствованы из Территориальных схем Алтайского края (2017 г.)<sup>8</sup> и Новосибирской области (2016 г.)<sup>9</sup>.

По результатам оценки отмечается максимальное количество источников образования ТКО в границах бассейнов оз. Чаны, Кучукское, Кулундинское: 235 в Новосибирской области и 243 в Алтайском крае при средней плотности расположения объектов 8 шт./1000 км<sup>2</sup>. В бассейнах рр. Бурла, Карасук и Суетка плотность таких объектов достигает 10–11 шт./1000 км<sup>2</sup>.

<sup>8</sup> Разработка территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами Алтайского края (актуализированная редакция). Т. 1. Алтайский край / ИВЭП СО РАН. Барнаул, 2017. 261 с.

<sup>9</sup> Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Новосибирской области. Утв. постановлением Правительства Новосибирской области от 26.09.2016 № 292-п.



**Рис. 1.** Совокупная антропогенная нагрузка на территории муниципальных образований бессточной области Обь-Иртышского междуречья.



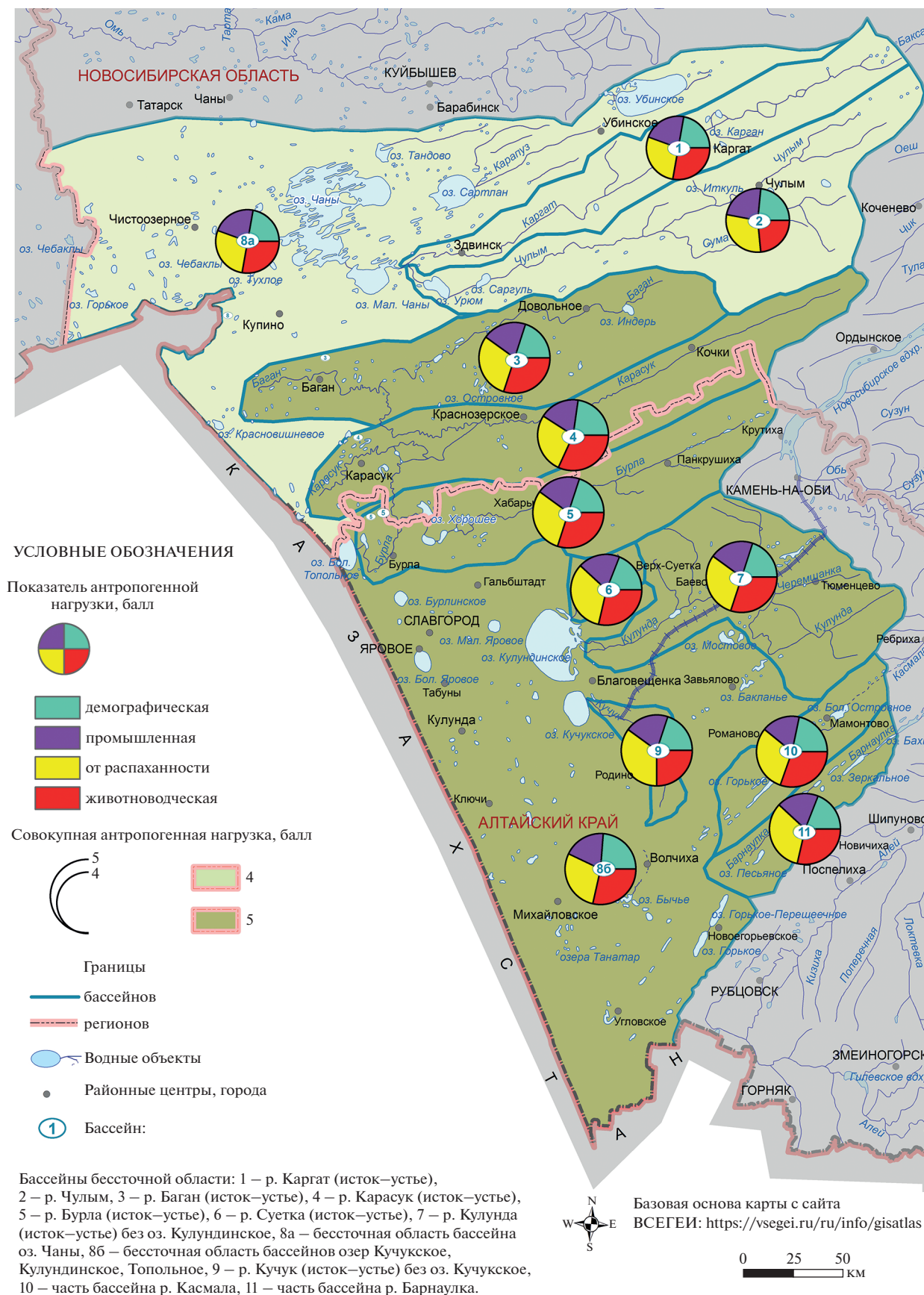


Рис. 2. Совокупная антропогенная нагрузка на водосборные территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья.

**Таблица 3.** Поголовье скота в границах водосборных территорий бессточной области Обь-Иртышского междуречья, 2020 г.

Водосборная территория	Поголовье, голов			
	КРС	свиньи	лошади	овцы и козы
Баган	32900	4727	1685	20655
Барнаулка	11024	4792	468	2012
Бурла	37125	13618	4019	13852
Карасук	44888	13632	2861	18740
Каргат	15706	1800	688	6765
Касмала	15195	8462	1129	3804
Кулунда	19036	12095	1015	7198
Кучук	2150	1133	165	2082
Суетка	3323	1967	142	656
Чулым	11595	2875	817	10173
Бессточная область озер	162916	46746	11420	84895
Всего	355857	111849	24412	170833

Более детально рассмотрена нагрузка на водные объекты за счет *плоскостного смыва загрязняющих веществ с водосбора*. Привнос на территорию водосборных бассейнов таких загрязняющих веществ, как фосфор и азот осуществляется в результате деятельности животноводства. Поголо-

вье скота рассматриваемой территории характеризуется повсеместным преобладанием КРС, общая его численность составляет 355 857 голов.

Места размещения животноводческих объектов в границах водосборных бассейнов были уточнены на основе данных с сайтов Федеральной налоговой службы и ФГИС “Единый реестр проверок”, а также путем дешифрирования космических снимков высокого разрешения. Результат показал, что наибольшее количество КРС отмечается в границах следующих водосборных территорий: бессточная область озер – 162916 голов (45.8% всего поголовья), бассейны рр. Карасук – 44888 голов (12.6%), Бурла – 37125 голов (10.4%) и Баган – 32900 голов (9.2%). Наибольшее поголовье овец и коз также сосредоточено на территории бессточной области озер – 84895 голов (49.7%), на втором месте – бассейн р. Баган – 20655 (12.1%), на третьем – р. Карасук – 18740 голов (11.0%), четвертом – р. Бурла – 13852 голов (8.1% всего поголовья) (табл. 3).

Общее количество эмиссии фосфора в пределах всей рассматриваемой территории составило 9375.9 т/год, азота – 30866.7 т/год. Наибольшее количество отмечается в границах бессточной области – 4325.4 т/год (46.1%) фосфора и 14072.4 т/год (45.6%) азота соответственно (рис. 3, табл. 4).

Однако если соотнести показатели эмиссии фосфора и азота с площадями соответствующих

**Таблица 4.** Эмиссия фосфора и азота (т/год) от животноводческой деятельности в границах водосборных бассейнов, 2020 г.

Показатель	Баган	Барнаулка	Бурла	Карасук	Каргат	Касмала	Кулунда	Кучук	Суетка	Чулым	Бессточная область озер	Итого
<i>Фосфор</i>												
КРС	727.1	243.6	820.5	992.0	347.1	335.8	420.7	47.5	73.4	256.2	3600.4	7864.4
Свиньи	4.3	4.3	12.3	12.3	1.6	7.6	10.9	1.0	1.8	2.6	42.1	100.7
Лошади	43.1	12.0	102.9	73.3	17.6	28.9	26.0	4.2	3.6	20.9	292.3	624.9
Овцы и козы	95.0	9.3	63.7	86.2	31.1	17.5	33.1	9.6	3.0	46.8	390.5	785.8
Всего	869.5	269.2	999.3	1163.8	397.5	389.8	490.7	62.3	81.9	326.6	4325.4	9375.9
<i>Азот</i>												
КРС	1914.8	641.6	2160.7	2612.5	914.1	884.4	1107.9	125.1	193.4	674.8	9481.7	20710.9
Свиньи	199.5	202.2	574.7	575.3	76.0	357.1	510.4	47.8	83.0	121.3	1972.7	4720.0
Лошади	197.2	54.8	470.3	334.8	80.5	132.0	118.8	19.3	16.6	95.6	1336.1	2856.2
Овцы и козы	311.9	30.4	209.2	283.0	102.2	57.4	108.7	31.4	9.9	153.6	1281.9	2579.6
Всего	2623.3	929.0	3414.8	3805.5	1172.8	1431.0	1845.8	223.7	302.9	1045.4	14072.4	30866.7

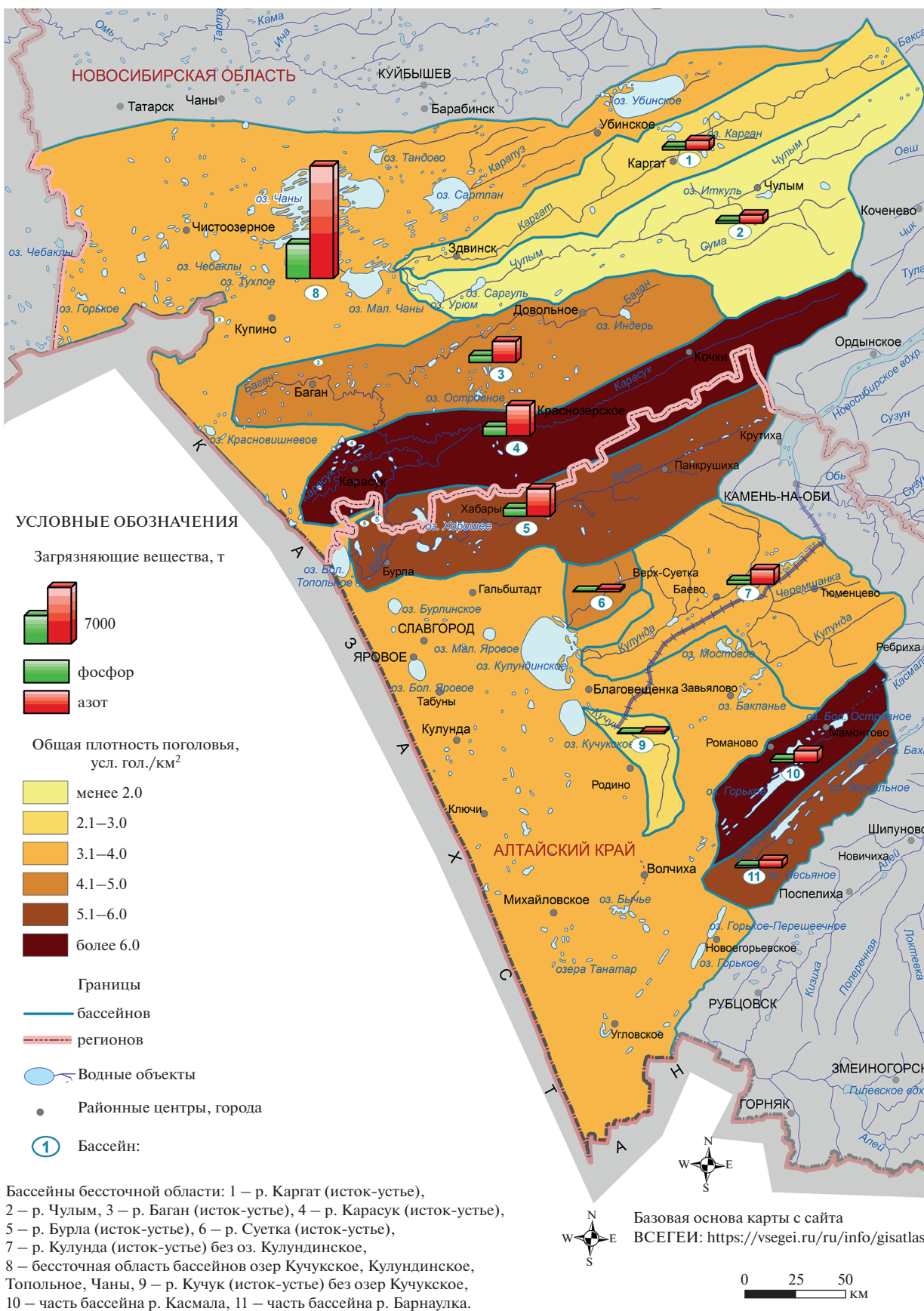


Рис. 3. Животноводческая нагрузка фосфора и азота на водосборные территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья.



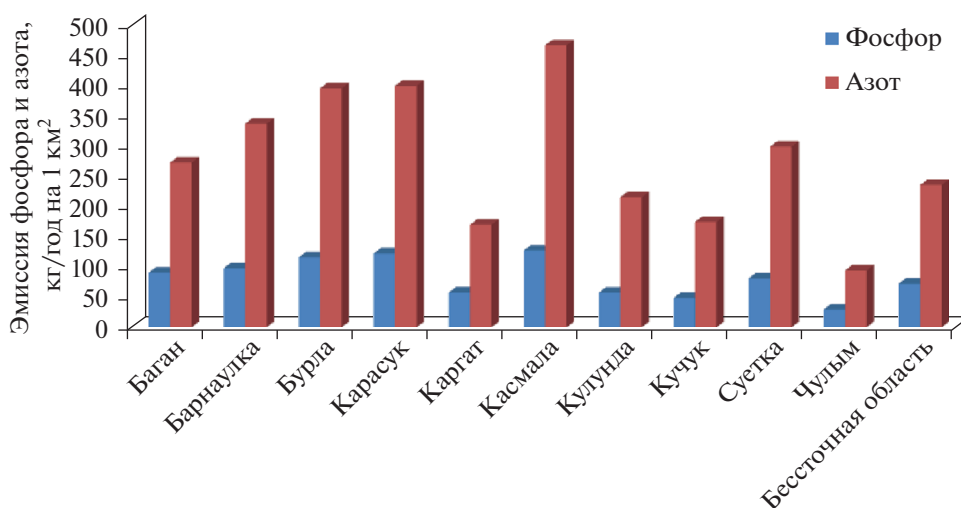


Рис. 4. Эмиссия фосфора и азота в результате деятельности животноводства, кг/год на 1 км<sup>2</sup>.

водосборных территорий, наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на 1 км<sup>2</sup> в бассейнах рр. Касмала – 126.6 кг фосфора и 464.7 кг азота, Карасук – 121.7 кг фосфора и 398.0 кг азота, Бурла – 115.2 кг фосфора и 393.8 кг азота; минимальное – в бассейне р. Чулым – 29.3 кг фосфора и 93.7 кг азота, тогда как средние значения по всей территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья составляют 76.3 и 251.3 кг на 1 км<sup>2</sup> в год соответственно (рис. 4).

Сравнительный анализ прямых и косвенных воздействий показывает явный перевес в пользу косвенных видов нагрузки. Например, на территории Баганского района Новосибирской области объем поступления азотсодержащих веществ в результате прямых воздействий составляет 80.087 т (или 3%), а косвенных (за счет наличия животноводческих комплексов и ферм на территории водосбора) – 2623.3 т (97%). Еще больше преимущественно в пользу косвенных воздействий по фосфору: 869.5 и 0.016 т.

Для верификации полученных результатов выполнены дополнительные расчеты массы загрязняющих веществ, поступающих с водосбора. Определение проводилось на основе проведенных гидрологических измерений и/или данных Росгидромета, а также выполненного в ИВЭП СО РАН гидрохимического анализа (табл. 5). Полученные массы загрязняющих веществ определены в период максимального плоскостного смыва с водосбора, соответствуют фазе высокой водности внутригодовой цикличности, поэтому не могут быть распространены на другие гидрологические периоды года. Однако они дают обобщенное представление о максимально возможных объемах выноса веществ при косвенных видах воздействий, тем самым позволяя в первом при-

ближении верифицировать полученные данные расчетным путем по животноводческой нагрузке.

Так, эмиссии фосфора в бассейне р. Кучук только от животноводства составляют 62.3 т/год, а в целом от всех источников диффузного загрязнения в период половодья – 243.5 т/месяц. По соединениям азота животноводческая нагрузка в бассейне р. Суетка равна 302.9 т/год, суммарно от всех рассредоточенных объектов – 1101.2 т в мае 2021 г.

## ВЫВОДЫ

Антропогенная нагрузка должна рассматриваться от всех источников воздействия – как прямых (точечных), так и диффузных (рассредоточенных).

Инвентаризация источников загрязнения методами дистанционного зондирования выявила несоответствие количества животноводческих комплексов, выделенных с помощью реестра организаций и путем дешифрирования космических снимков.

Оценка прямых видов воздействия показала отсутствие проявления водного стресса и высокую кратность разбавления сточных вод при средних показателях речного стока, что положительно сказывается на экологическом состоянии водных объектов. Отмеченные низкие и средние уровни прямых воздействий объясняются отсутствием крупных водопользователей и расположением в бессточной области Обь-Иртышского междуречья преимущественно малых и средних предприятий.

Основными источниками загрязнения водных объектов признаны территории сельских населенных пунктов, животноводческие фермы (комплекс-

**Таблица 5.** Naturные данные гидрологических обследований и результаты гидрохимического анализа рек бессточной области Обь-Иртышского междуречья в мае 2021 г.

Показатель	Единица измерения	Кучук–Н. Кучук	Кулунда–Шимолино	Суетка–Н. Суетка	Бурла–Панкрушиха	Бурла–Бурла	Карасук–Карасук	Чулым–Сума	Каргат–Каргат	Чулым–Чулым
Речной расход	м <sup>3</sup> /с	0.61	13.48	0.26	4.58	11.56	12.06	3.65	29.18	31.66
Концентрация аммония	мг/дм <sup>3</sup>	0.39	1.1	0.99	0.56	2.40	1.00	1.40	0.89	0.91
Концентрация нитрат-ионов	мг/дм <sup>3</sup>	0.18	0.74	0.64	0.76	0.86	0.60	1.00	1.10	1.40
Концентрация нитрит-ионов	мг/дм <sup>3</sup>	0.00	0.005	0.004	0.03	0.003	0.01	0.023	0.025	0.012
Масса аммония	тонн/ месяц	616.64	38434.18	667.18	6647.96	71912.45	31259.52	13245.12	67314.76	74677.08
Масса нитрат-ионов	тонн/ месяц	284.60	25855.72	431.31	9022.23	25768.63	18755.71	9460.80	83198.02	114887.81
Масса нитрит-ионов	тонн/ месяц	4.74	174.70	2.70	368.01	89.89	375.11	217.60	1890.86	984.75
<b>Суммарная масса азота</b>	<b>тонн/ месяц</b>	<b>905.98</b>	<b>64464.60</b>	<b>1101.19</b>	<b>16038.21</b>	<b>97770.97</b>	<b>50390.35</b>	<b>22923.52</b>	<b>152403.64</b>	<b>190549.64</b>
Концентрация фосфат-ионов	мг/дм <sup>3</sup>	0.10	0.48	0.68	0.60	0.11	0.79	0.29	0.18	0.31
Концентрация фосфора общ.	мг/дм <sup>3</sup>	0.05	0.19	0.33	0.20	0.09	0.26	0.10	0.06	0.10
Масса фосфат-ионов	тонн/ месяц	158.11	16771.28	458.27	7122.82	3295.99	24695.02	2743.63	13614.22	25439.44
Масса фосфора общ.	тонн/ месяц	85.38	6638.63	222.39	2374.27	2816.57	8127.48	908.24	4538.07	8042.15
<b>Суммарная масса фосфора</b>	<b>тонн/ месяц</b>	<b>243.49</b>	<b>23409.91</b>	<b>680.66</b>	<b>9497.09</b>	<b>6112.56</b>	<b>32822.50</b>	<b>3651.87</b>	<b>18152.29</b>	<b>33481.59</b>



сы), участки выгула домашнего скота и птицы, свалки хозяйственно-бытового мусора и ТКО.

Совокупная антропогенная нагрузка на водосборе агрегирует многочисленные косвенные источники воздействия. Выявлено относительно равномерное распределение всех показателей косвенного воздействия по территории региона исследования. Отмечается немного больший уровень нагрузки в пределах бессточной области Алтайского края в сравнении с Новосибирской областью, что связано с более развитым аграрным сектором края.

Сравнительный анализ прямых и косвенных видов воздействия показывает превалирование рассредоточенных источников антропогенной нагрузки.

При дальнейших исследованиях представляется возможным районирование исследуемой территории по интенсивности антропогенных воздействий.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в рамках выполнения работ по госбюджетной тематике ИВЭП СО РАН и гранту РФФИ № 21-55-75002/21 “Разработка рекомендаций в целях устойчивого совместного использования почв и грунтовых (подземных) вод: принятие решений при поддержке и участии заинтересованных сторон”.

#### FUNDING

The article was supported by the state budget of the IWEP SB RAS and the RFBR grant no. 21-55-75002 “Stakeholder supported decision making for sustainable conjunctive management of soil and groundwater.”

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев В.А., Филиппова Н.В.* Справочник по органическому удобрению. М.: Росагропромиздат, 1988. 255 с.
- Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидрол. ин-т, 2008. 600 с.
- Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.* Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
- Данилов-Данильян В.И., Веницианов Е.В., Беляев С.Д.* Некоторые проблемы снижения загрязнения водных объектов от диффузных источников // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 493–502.
- Демин А.П., Болгов М.В., Филиппова И.А.* Изменение нагрузки на водные ресурсы бассейна реки Оки под влиянием климатических и антропогенных факторов // Научное обеспечение реализации “Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года”: Сб. науч. тр. ФГБУН Институт водных проблем РАН, 2015. С. 86–93.
- Демин А.П.* Сброс сточных вод и загрязнение водных объектов в бассейне реки Волга (1990–2018 гг.) // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1. № 5. С. 138–143.
- Исаченко А.Г.* Широтная зональность и механизмы устойчивости ландшафтов к антропогенным воздействиям // Изв. РГО. 1997. Т. 129. № 3. С. 15.
- Исаченко А.Г.* Экологическая география России. СПб.: Изд. дом СПбГУ, 2001. 328 с.
- Королев А.А., Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Панютин А.А., Иудин Д.И.* Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2007. Т. 9. № 1. С. 265–269.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015. 168 с.
- Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Мельник К.С.* Гидрология антропогенного направления: становление, методы, результаты // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 2. С. 8–23.
- Корытный Л.М., Безруков Л.А.* Водные ресурсы Ангаро-Енисейского региона (геосистемный анализ). Новосибирск: Наука, 1990. 216 с.
- Кочуров Б.И.* Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.: Маджета, 2003. 384 с.
- Кочуров Б.И., Родионова А.И., Семенов В.А.* Оценка эколого-хозяйственного баланса Калужской области // Проблемы региональной экологии. 2016. № 3. С. 150–156.
- Минеев В.Г.* Агрохимия: Учеб. М.: Изд-во “Колос”, 2004. 720 с.
- Одессер С.В.* Территориальная дифференциация в экономико-географических типологиях // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 6. С. 61–69.
- Орлов М.С., Абрамова Е.А., Щерба В.А.* К оценке антропогенной нагрузки на воды речных бассейнов Подмосковья и Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 2 (13). С. 681–684.
- Отто О.В., Оточкина О.А.* Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты Алтайского края // География и природопользование Сибири. 2016. № 21. С. 125–135.
- Оценка влияния хозяйства на природу. Воздействие — изменение — последствия / под ред. В.С. Преображенского, В. Ворачек. Брно, 1985. Т. 1. 438 с.
- Потапов А.Д.* Экология. М.: Высш. шк., 2000. 447 с.
- Румянцев В.А., Коронкевич Н.И., Измайлова А.В., Георгиади А.Г., Зайцева И.С., Барабанова Е.А., Дробкова В.Г., Корнеевкова Н.Ю.* Водные ресурсы рек и водоемов России и антропогенные воздействия на

- них // Изв. РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85. № 1. С. 120–135.
- Рыбкина И.Д. Оценка экологической опасности в системах расселения Алтайского края: Дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 2005. 229 с.
- Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Курепина Н.Ю. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Водное хозяйство России. 2011. № 4. С. 42–52.
- Селезнев В.А. Методика оценки и анализа антропогенной нагрузки на реки от точечных источников загрязнения // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2021. Т. 23. № 5. С. 135–143.
- Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2003. Т. 5. № 2. С. 268–277.
- Симакова М.С. От визуального дешифрирования аэрофотоснимков и полевого картографирования почв до автоматизированного дешифрирования и картографирования по космическим снимкам // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2014. № 74. С. 3–19.
- Сороковикова Н.В. Экологическое нормирование хозяйственной нагрузки на ландшафты // Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.В. Евстафьева, В.В. Снакин и др. М.: Наука, 1993. С. 269–274.
- Стоящева Н.В. Проблема загрязнения малых рек Кузбасса сточными водами промышленных предприятий // Вестн. КемГУ. 2015. Т. 3. № 4 (64). С. 156–163.
- Цимбалей Ю.М., Андреева И.В. Учет ландшафтной структуры водосборов при оценке водного баланса водоприемников (на примере бессточной области Обь-Иртышского междуречья) // Изв. АО РГО. 2015. № 1 (36). С. 23–30.
- Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 302 с.
- Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 334 с.
- Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 630–648.
- Bibikova T.S. Comparative analysis of anthropogenic impact on water resources in Russia, Belarus, and Ukraine in the post-soviet period // Wat. Resour. 2011. Vol. 38. № 5. P. 549–556.
- Global water: issues and insights / R. Quentin Grafton, P. Wyrwoll, Ch. White, D. Allendes (Eds.). Canberra: ANU Press, 2014. 239 p.
- Schlosser C.A., Strzepek K., Xiang Gao, Fant C., Elodie Blanc, Paltsev S., Jacoby H., Reilly J., Gueneau A. The future of global water stress: An integrated assessment // Earth's Future. 2014. Vol. 2. № 8. P. 341–361.
- WWAP (World Water Assessment Program). The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: UNESCO, 2015. 122 p.

## Assessment of the Anthropogenic Load on Water Bodies of the Ob–Irtysch Interfluvium: Inventory of Pollution Sources, Comparative Analysis of Direct and Indirect Impacts

I. D. Rybkina<sup>1</sup>, \*, N. V. Stoyashcheva<sup>1</sup>, N. Yu. Kurepina<sup>1</sup>, A. V. Golovin<sup>1</sup>,  
E. Yu. Sedova<sup>1</sup>, and O. V. Mashkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS), Barnaul, Russia

<sup>2</sup>ACTeon, French Consulting and Research Company, Colmar, France

\*e-mail: irina.rybkina@mail.ru

Anthropogenic load was assessed using two groups of indicators of direct (organized) and indirect (diffuse) impacts on the example of small rivers in the closed region of the Ob–Irtysch interfluvium. Among the many assessment methods, those that have been tested in geographic and hydrological studies have been selected. Detailing and verification of the results of the assessment was carried out using remote sensing, field research, chemical-analytical and statistical methods. The assessment showed that the main sources of pollution of water bodies are the territories of rural settlements, livestock farms (complexes), areas for walking livestock and poultry, household waste dumps and municipal solid waste, that is, sources of diffuse pollution. There is a higher level of load within the drainless region of the Altai krai in comparison with the Novosibirsk oblast, which is associated with a more intensive development of the agricultural sector of the region's economy. An inventory of sources of anthropogenic impacts by remote sensing methods revealed some difficulties, such as difficulties in determining existing facilities and their uses, a mismatch in the number of livestock complexes identified using the register of organizations and by visual interpretation of space images. The analysis of calculated data on phosphorus and nitrogen loads on individual water bodies is confirmed by estimates based on the results of field hydrological and hydrochemical studies.

**Keywords:** catchment areas, inventory of pollution sources, livestock farms, phosphorus and nitrogen load, hydrochemical analysis, remote sensing

## REFERENCES

- Bibikova T.S. Comparative analysis of anthropogenic impact on water resources in Russia, Belarus, and Ukraine in the post-soviet period. *Water Resour.*, 2011, vol. 38, no. 5, pp. 549–556.
- Danilov-Danil'yan V.I., Losev K.S. *Potreblenie vody: ekologicheskie, ekonomicheskie, sotsial'nye i politicheskie aspekty* [Water Consumption: Environmental, Economic, Social and Political Aspects]. Moscow: Nauka Publ., 2006. 221 p.
- Danilov-Danil'yan V.I., Venitsianov E.V., Belyaev S.D. Some problems of reducing the pollution of water bodies from diffuse sources. *Water Resour.*, 2020, vol. 47, no. 5, pp. 682–690.
- Demin A.P., Bolgov M.V., Filippova I.A. Changes in loads on water resources of the Oka River basin influenced by climatic and anthropogenic factors. In *Nauchnoe obshcheprenie realizatsii "Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda": sbornik nauch. tr. FGBUN Institut vodnykh problem RAN*. [Scientific Support for Implementating the Water Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2020: Book of Abstracts, FGBUN Institute of Water Problems of RAS]. Petrozavodsk: RIO KarNC RAN Publ., 2015, pp. 86–93. (In Russ.).
- Demin A.P. Wastewater discharge and pollution of water bodies in the Volga River basin (1990–2018 gg.). *Ekol. Ekon. Inform., Ser. Sistemy Analiz Modelir. Ekonom. Ekolog. Sistem*, 2020, vol. 1, no. 5, pp. 138–143. (In Russ.).
- Global water: issues and insights*. R. Quentin Grafton, Paul Wyrwoll, Chris White and David Allendes, Eds. Canberra: ANU Press, 2014. 239 p.
- Isachenko A.G. Latitudinal zonality and mechanisms of landscape resistance to anthropogenic impacts. *Izv. Russ. Geogr. O-va*, 1997, vol. 129, no. 3, p. 15. (In Russ.).
- Isachenko A.G. *Ekologicheskaya geografiya Rossii* [Environmental Geography of Russia]. St. Petersburg: SPb-SU Publ., 2001. 328 p.
- Korolev A.A., Rozenberg G.S., Gelashvili D.B., Panyutin A.A., Iudin D.I. Wastewater-based ecological zoning of the Volga basin territory using the basin approach (the case of the Upper Volga). *Izv. Samar. Nauch. Tsentra Akad. Nauk*, 2007, vol. 9, no. 1, pp. 265–269. (In Russ.).
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennyye vozdeistviya na stok reki Moskvy* [Anthropogenic Impacts on the Moscow River Flow]. Moscow: MAKSS Press Publ., 2015. 168 p.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.S., Kashutina E.A., Mel'nik K.S. Anthropogenic Hydrology: formation, methods, results. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 2, pp. 8–23. (In Russ.).
- Korytnyi L.M., Bezrukov L.A. *Vodnye resursy Angaro-Eniseiskogo regiona (geosistemnyi analiz)* [Water Resources of the Angara–Yenisey Region (geosystem analysis)]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1990. 216 p.
- Kochurov B.I. *Ekodiagnostika i sbalansirovannoe razvitiye* [Ecodiagnosics and Balanced Development]. Moscow: Madzheta Publ., 2003. 384 p.
- Kochurov B.I., Rodionova A.I., Semenov V.A. Assessing the ecological-economic balance of Kaluga oblast. *Probl. Reg. Ekol.*, 2016, no. 3, pp. 150–156. (In Russ.).
- Mineev V.G. *Agrokimiya: uchebnik* [Agrochemistry: textbook]. Moscow: Kolos Publ., 2004. 720 p.
- Odesser S.V. Territorial differentiation in economic-geographical typologies. *Izv. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 1991, no. 6, pp. 61–69. (In Russ.).
- Orlov M.S., Abramova E.A., Shcherba V.A. Assessing anthropogenic loads on waters of river basins in Moscow region and the Crimea. *Geopol. Ekogeodin. Reg.*, 2014, vol. 10, no. 2 (13), pp. 681–684. (In Russ.).
- Otto O.V., Otochkina O.A. Assessment of anthropogenic loads on water bodies of Altai krai. *Geogr. Prirodopol'z. Sibiri*, 2016, no. 21, pp. 125–135. (In Russ.).
- Otsenka vliyaniya khozyaistva na prirodu. Vozdeistvie – izmenenie – posledstviya. T. 1* [Assessing Economy Impacts on Nature. Impact – Change – Consequences. Vol. 1]. Preobrazhensky V.S., Vorachek V., Eds. Brno, 1985. 438 p.
- Potapov A.D. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow: Vyssh. Shk. Publ., 2000. 447 p.
- Reilly J., Gueneau A. The future of global water stress: An integrated assessment. *Earth's Future*, 2014, vol. 2, no. 8, pp. 341–361.
- Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I., Izmailova A.V., Georgiadi A.G., Zaitseva I.S., Barabanova E.A., Drabkova V.G., Korneenkova N.Yu. Water resources of rivers and reservoirs of Russia influenced by anthropogenic impacts. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2021, vol. 85, no. 1, pp. 120–135. (In Russ.).
- Rybkina I.D. Assessing environmental hazard in municipal systems of Altai krai: *Doc. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Barnaul: Inst. Vodn. i Ekol. Probl., Russ. Akad. Nauk, 2005. 229 p.
- Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V., Kurepina N.Yu. Methodology for zoning a river basin territory by total anthropogenic load (the case of the Ob–Irtys' basin). *Vodn. Khoz. Ross.*, 2011, no. 4, pp. 42–52. (In Russ.).
- Seleznev V.A. Methodology for assessing and analyzing anthropogenic loads of point pollution on rivers. *Izv. Samar. Nauch. Tsentra Akad. Nauk*, 2021, vol. 23, no. 5, pp. 135–143. (In Russ.).
- Selezneva A.V. Anthropogenic loads of point pollution on rivers. *Izv. Samar. Nauch. Tsentra Akad. Nauk*, 2003, no. 2, vol. 5, pp. 268–277. (In Russ.).
- Simakova M.S. From visual interpretation of aerial photographs and field mapping of soils to automated interpretation and mapping from satellite images. *Bull. of the Soil Inst. named after V.V. Dokuchaev*, 2014, no. 74, pp. 3–19. (In Russ.).
- Sorokovikova N.V. Ecological regulation of economic loads on landscapes. In *Biogeokhimicheskie osnovy ekologicheskogo normirovaniya* [Biogeochemical Basics of Ecological Regulation]. Bashkin V.N., Evstaf'eva E.V., Snakin V.V., Eds. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 269–274. (In Russ.).
- Stoyashcheva N.V. The problem of pollution of Kuzbass small rivers by wastewaters from industrial enterprises. *Vestn. KemSU*, 2015, vol. 4 (64), no. 3, pp. 156–163. (In Russ.).

- Tsimbalei Yu.M., Andreeva I.V. Consideration of landscape watershed structure in assessing a water balance of water inlets (the drainless Ob–Irtysh interfluvium as a case study). *Izv. Russ. Geogr. O-va*, 2015, no. 1 (36), pp. 23–30. (In Russ.).
- Shiklomanov I.A. *Antropogennye izmeneniya vodnosti rek* [Anthropogenic Changes in River Water Content]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 302 p.
- Shiklomanov I.A. *Vliyaniye khozyaistvennoi deyatel'nosti na rechnoi stok* [Impact of Economic Activity on River Flow]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989. 334 p.
- Schlösser C.A., Strzepek K., Xiang Gao, Fant C., Elodie Blanc, Paltsev S., Jacoby H., Reilly J., Gueneau A. The future of global water stress: An integrated assessment. *Earth's Future*, 2014, vol. 2, no. 8, pp. 341–361.
- Vasil'ev V.A., Filippova N.V. *Spravochnik po organicheskim udobreniyam* [Handbook of Organic Fertilizers]. Moscow: Rosagropromizdat Publ., 1988. 255 p.
- Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie* [Water Resources of Russia and Their Use]. Shiklomanov I.A., Ed. St. Petersburg: Gos. Gidrol. Inst., 2008. 600 p.
- WWAP (World Water Assessment Program)*. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: UNESCO, 2015. 122 p.
- Yasinskii S.V., Kashutina E.A., Sidorova M.V., Narykov A.N. Anthropogenic Load and the Effect of Drainage Area on the Diffuse Runoff of Nutrients into a Large Water Body: Case Study of the Cheboksary Reservoir. *Water Resour.*, 2020, vol. 47, no. 5, pp. 810–827. <https://doi.org/10.1134/S009780782005022X>