

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 502.5

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(156-167)

С.Г. ПЛАТОНОВА*, **Т.О. СТРЕЛЬНИКОВА****, **В.В. СКРИПКО*^{***}**, **А.А. АДАМ*^{***}**, **Ю.М. ЦИМБАЛЕЙ****Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Барнаул, ул. Молодёжная, 1, Россия, sgplatonova@mail.ru, skripko@inbox.ru, adamuss@mail.ru, zimbur@iwep.ru**Институт экологии человека СО РАН, 650065, Кемерово, Ленинградский проспект, 10, Россия, strelnikova21@yandex.ru^{***}Алтайский государственный университет, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 61, Россия, skripko@inbox.ru, adamuss@mail.ru**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЙОНОВ УГЛЕДОБЫЧИ
НА ПРИМЕРЕ НОВОКУЗНЕЦКОГО РАЙОНА КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Для характеристики экологического состояния горнодобывающих районов предложена методика геоэкологической оценки, апробированная на примере Новокузнецкого района угледобывающей Кемеровской области. В качестве территориальных операционных единиц анализа природных условий использованы 22 ландшафтные местности в составе трех провинций Салаир-Кузнецко-Алтауской горной области, среди которых доминируют лесные ландшафты низкогорий. Оценка геоэкологической стабильности геосистем основана на сопоставлении с помощью ArcGIS степени антропогенной преобразованности и устойчивости ландшафтов с помощью матрицы. Для каждого из выделенных по данным анализа космических снимков и тематических карт восьми видов и категорий земель с учетом горнодобывающей специализации региона определено значение коэффициента антропогенной преобразованности. На основе разработанной картосхемы структуры хозяйственного использования для каждого ландшафтного контура рассчитан средневзвешенный по площади коэффициент антропогенной преобразованности. Для Новокузнецкого района установлены ландшафты трех степеней геоэкологической стабильности: относительно стабильные, стабильные, весьма стабильные. В целом в пределах Новокузнецкого района наибольшая доля приходится на водораздельные склоновые ландшафты Кузнецкого Алатау с пихтово-осиновой черневой тайгой, а также долин мелких рек и ручьев, с весьма стабильным геоэкологическим состоянием (66,8 % площади). Разработанный алгоритм геоэкологической оценки достаточно универсален и может применяться для территорий других иерархических уровней.

Ключевые слова: геоэкологическая стабильность, угледобывающий район, антропогенная преобразованность, устойчивость ландшафтов, ГИС-технологии.

S.G. PLATONOVA*, **T.O. STREL'NIKOVA****, **V.V. SKRIPKO*^{***}**, **A.A. ADAM*^{***}**, **Yu.M. TSIMBALEI****Institute for Water and Environmental problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 656038, Barnaul, ul. Molodezhnaya, 1, Russia, sgplatonova@mail.ru, skripko@inbox.ru, adamuss@mail.ru, zimbur@iwep.ru**Institute of Human Ecology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 650065, Kemerovo, Leningradskii prospect, 10, Russia, strelnikova21@yandex.ru^{***}Altai State University, 656038, Barnaul, pr. Lenina, 611, Russia, skripko@inbox.ru, adamuss@mail.ru**GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF COAL-MINING AREAS
(A CASE STUDY OF THE NOVOKUZNETSKII DISTRICT, KEMEROVO OBLAST)**

For characterizing the environmental status of mining areas, a geoecological assessment procedure was proposed, which was tested using the case of the Novokuznetskii district of Kemerovo oblast. Twenty-two landscapes forming part of three provinces in the Salair Kuznetsk Alatau mountain region dominated by forest landscapes of low mountains were used as operational territorial

units of the environment analysis. The geocological assessment of geosystems involved using ArcGIS-based comparison (in a matrix form) of the degree of anthropogenic transformation and sustainability of landscapes. For each of the eight types and categories of lands identified from analyzing satellite images and thematic maps, with the region's mining specialization taken into account, we determined the value of the coefficient of anthropogenic transformation. On the basis of the schematic map developed for the structure of economic use, for each landscape contour we calculated the area-weighted mean coefficient of anthropogenic transformation. For the Novokuznetskii district, landscapes of three levels of geocological stability were identified: relatively stable, stable and very stable. On the whole, within the Novokuznetskii district the largest proportion corresponds to watershed slope landscapes of Kuznetsk Alatau with fir-aspen chern taiga and the valleys of small rivers and brooks distinguished by a very stable geocological state (66.8 % of the area). The algorithm developed for geocological assessment is quite versatile and can be applied to territories of other hierarchical levels.

Keywords: *geocological stability, the coal-mining district, anthropogenic transformation, landscape sustainability, GIS technologies.*

ВВЕДЕНИЕ

Геоэкологическая оценка в последние годы стала важным инструментом при решении проблем взаимодействия общества и природы. Основная задача оценки — углубленный анализ экологического состояния территории с целью обеспечения ее устойчивого развития. Методика геоэкологической оценки не универсальна, поскольку комплекс входящих в нее методов всегда подбирается в зависимости от задачи исследования, природных особенностей и ранга изучаемого объекта, характера хозяйственного использования природных и иных материальных ресурсов.

К важнейшим объектам геоэкологических исследований относятся горнодобывающие регионы с высокой степенью антропогенной нагрузки, приводящей к коренной перестройке природных систем. Опыт геоэкологической оценки горнодобывающих регионов отражен в работах российских [1–4] и зарубежных [5, 6] авторов. Кемеровская область — крупный угледобывающий регион России. В последние годы здесь увеличились темпы угледобычи и планируются к освоению новые участки с акцентом на разработку месторождений открытым способом [7], что сопровождается усилением антропогенного пресса на природную среду. В этих условиях особую актуальность приобретает исследование ландшафтов с позиций геоэкологического подхода.

Для территории с развитой угледобывающей промышленностью на примере Новокузнецкого района Кемеровской области была предложена и апробирована методика оценки геоэкологической стабильности ландшафтов.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

Геоэкологическая оценка территории угледобывающего региона базируется на синтезе геосистемного (ландшафтного) подхода [8, 9], общих принципов геоэкологической оценки [3], а также методики исследования устойчивости почв и ландшафтов к загрязнению и комплексному антропогенному воздействию [10, 11]. Ее основу составляет определение геоэкологической стабильности геосистем через соотношение потенциальной природной устойчивости ландшафтов и антропогенной преобразованности территории.

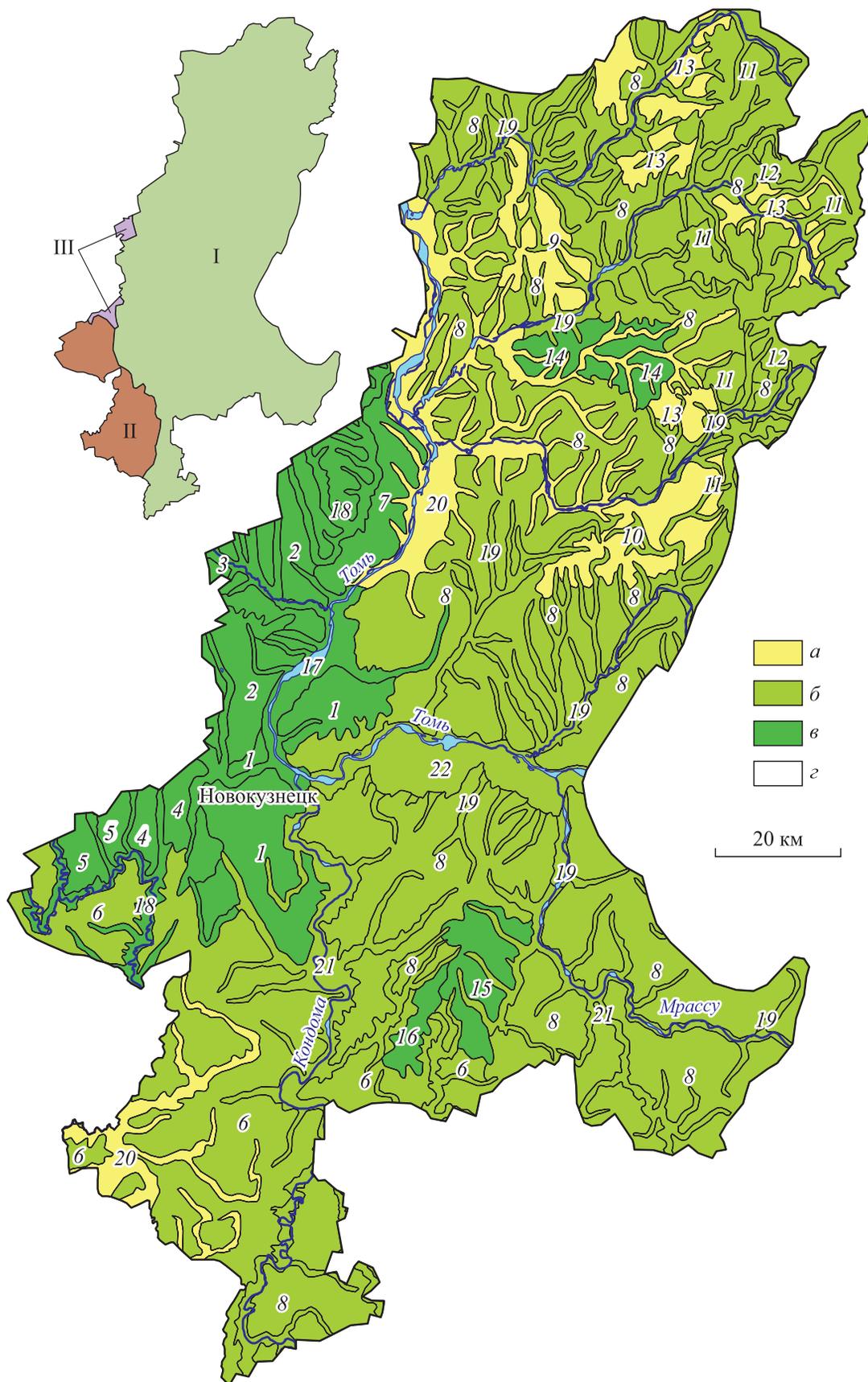
В настоящей работе исследование естественных ландшафтов проведено в соответствии с методологическими принципами, изложенными в [8, 12–14]. Для анализа потенциальной природной устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию использованы методики оценки состояния и устойчивости почв, ландшафтов и экосистем [11, 15–17].

Контуры реализованного антропогенного воздействия, обусловленные деятельностью горнодобывающих предприятий (районы пылевой нагрузки, ареалы загрязнения приземного слоя атмосферы оксидами азота выше ПДК, зоны нарушенного гидродинамического режима, депрессионные воронки, а также деградированные леса) выделены по [7, 18, 19].

На всех этапах исследования использовались ГИС-технологии пространственного анализа, моделирования и картографирования (приложения ArcGIS и QGIS), в том числе с привлечением данных дистанционного зондирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Реализованный на примере Новокузнецкого района Кемеровской области алгоритм проведения комплексной геоэкологической оценки территории включает: изучение ландшафтных условий ис-



следуемой территории; характеристику потенциальной природной устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию; характеристику антропогенной преобразованности территории; оценку геоэкологической стабильности геосистем.

Изучение ландшафтных условий исследуемой территории. Изучение проведено на основе Ландшафтной карты Кемеровской области [20], натуральных ландшафтных и геоботанических исследований на ключевых участках.

Всего в Новокузнецком районе (по [20]) выделено 22 ландшафтные местности (ЛМ) в пределах трех провинций, относящихся к Салаиро-Кузнецко-Алатауской области Алтае-Саянской физико-географической страны: Кузнецко-Алатауской (88,5 % общей площади), Салаирской (10,5 %) и Кузнецкой межгорно-котловинной (1 %).

В Кузнецко-Алатауской провинции преобладают (41,8 % от площади провинции) низкогорные водораздельные и приводораздельные склоновые поверхности с абсолютными отметками от 300 до 600 м, покрытые сильно закустаренной пихтово-осиновой черневой тайгой на горно-таежных глубокоподзоленных почвах (рис. 1, ЛМ 8). Местами среди черневой тайги встречаются березово-осиновые леса с крупнотравными лесными лугами (ЛМ 6; 4,5 %). С увеличением высоты и переходом к среднегорью в черневой тайге появляются фрагменты кедрово-пихтовых лесов с мохово-лишайнико-

Рис. 1. Потенциальная устойчивость ландшафтов Новокузнецкого района.

Ландшафтные провинции: I — Кузнецко-Алатауская, II — Салаирская, III — Кузнецкая межгорно-котловинная. Ландшафтные местности по степени устойчивости: *a* — малоустойчивые (3 балла), *b* — относительно устойчивые (4 балла), *в* — устойчивые (5 баллов). *г* — границы ландшафтных местностей. Здесь и на рис. 2–4: 1–22 — номера ландшафтных местностей, по [20].

Кузнецко-Алатауская провинция. Водоразделы: 1 — с осиново-березовыми колками в сочетании с суходольными лесными лугами на темно-серых лесных почвах (200–400 м); 6 — с черневой пихтово-осиновой тайгой и березово-осиновыми лесами и лесными лугами на горно-таежных глубокоподзоленных почвах (400–600 м). Водоразделы и склоны: 8 — различной экспозиции и крутизны, с пихтово-осиновой черневой тайгой, с мощным крупнотравным покровом на горно-таежных глубокоподзоленных почвах (300–600 м). Склоны: 9 — расчлененные с пихтово-елово-кедровой тайгой с моховым покровом на горно-таежных глубокоподзоленных почвах (300–700 м); 10 — приводораздельные, с выходами коренных пород, с угнетенными редкостойными мохово-кустарничковыми подгольцовыми кедровниками (1000–1650 м). Склоны западной и северо-западной экспозиций: 11 — с субальпийскими лугами на горно-луговых почвах (1000–1400 м); 12 — с каменистой лишайниково-кустарничковой тундрой на горно-тундровых торфянистых почвах (1300–1920 м). Склоны западной и юго-западной экспозиций: 13 — с сосново-березовыми с участием пихты лесами на подзолистых щебнисто-супесчаных почвах (400–650 м). Водоразделы и склоны: 14 — западной экспозиции с черневой тайгой и фрагментами кедрово-пихтовых лесов с мощным мохово-лишайниковым покровом на горно-таежных бурых щебнистых и глубокоподзоленных почвах (900–1300 м). Водоразделы волнистые и слабо расчлененные: 15 — с пихтовой с примесью липы тайгой на горно-таежных дерново-псевдоподзолистых почвах (500–700 м); 16 — с чистыми липовыми лесами на горно-таежных бурых псевдоподзолистых почвах (500–600 м).

Салаирская провинция. Склоны расчлененные: 4 — пологие с березово-осиновыми колками и суходольными лугами на комплексе серых лесных почв, черноземов оподзоленных и лугово-болотных почв (300–400 м); 5 — средней крутизны с березово-осиновыми с примесью сосны лесами на темно-серых лесных и дерново-подзолистых почвах (300–450 м). Водоразделы: 6 — волнистые с черневой пихтово-осиновой тайгой и березово-осиновыми лесами и крупнотравными лесными лугами на горно-таежных глубокоподзоленных почвах (400–600 м).

Кузнецкая межгорно-котловинная провинция. Водоразделы: 2 — мелкогрядистые, с суходольными остепненными разнотравными лугами на черноземах выщелоченных и оподзоленных, редкими березовыми колками на темно-серых лесных почвах (220–350 м). Склоны расчлененные: 3 — средней крутизны, с разнотравно-злаковыми степями на черноземах выщелоченных маломощных (250–480 м); 4 — пологие с березово-осиновыми колками и суходольными лугами на комплексе серых лесных почв, черноземов оподзоленных (300–400 м); 5 — средней крутизны с березово-осиновыми с примесью сосны лесами на темно-серых лесных и дерново-подзолистых почвах (300–450 м).

Интразональные ландшафтные местности. Долины мелких рек и ручьев плоские, местами слабо волнистые: 17 — со злаково-разнотравными заливными лугами на аллювиально-луговых почвах; 18 — с березовыми с примесью осины лесами в сочетании с лесными лугами на аллювиально-луговых, дерново-подзолистых и лугово-подзолистых почвах; 19 — избыточно увлажненные с осиново-березовыми с примесью пихты лесами и фрагментами таежных высокотравных лугов на горно-таежных глубокоподзоленных почвах; 20 — широкие, с заболоченными елово-пихтовыми лесами на торфянисто-болотных почвах и осоково-моховыми болотами; 21 — заболоченные с елово-березовыми с участием осины лесами и участками лесных лугов на лугово-болотных и болотно-подзолистых почвах. Долины крупных рек с комплексом надпойменных террас: 22 — плоские, слабо волнистые со злаково-разнотравными заливными лугами на аллювиально-луговых почвах и участками высокотравных лесных лугов на лугово-болотных почвах.

вым покровом (ЛМ 14), а выше 1400–1600 м, где увеличивается щебнистость почвенного покрова, получают развитие кустарниково-лишайниковые (ЛМ 10, 12) и ерниковые тундры (ЛМ 11) на горно-тундровых торфянистых почвах. Местности этих типов занимают около 9 % территории района.

Для Салаирской провинции характерны водоразделы и приводораздельные поверхности с отметками 400–600 м (до 58,8 % площади провинции), покрытые мелкотравной черневой пихтово-осиновой тайгой в сочетании с березово-осиновыми высокотравными лесами и крупнотравными лесными лугами на горно-таежных глубокооподзоленных почвах (ЛМ 6). На более низких высотах (300–400 м) пологие или средней крутизны склоны заняты березово-осиновыми лесами на серых, темно-серых лесных и дерново-подзолистых почвах (ЛМ 4 и 5).

Кузнецкая межгорно-котловинная провинция в пределах Новокузнецкого района представлена двумя небольшими фрагментами. Это расчлененные водоразделы с суходольными остепненными разнотравными лугами и разнотравно-злаковыми степями с редкими березовыми колками на черноземах выщелоченных и оподзоленных в сочетании с серыми лесными почвами (ЛМ 2 и 3; немногим более 20 % площади провинции). Кроме того, здесь отмечены склоны пологие и средней крутизны, расчлененные, занятые березово-осиновыми, иногда с примесью сосны, закустаренными лесами на серых и темно-серых лесных, дерново-подзолистых почвах и черноземах оподзоленных (ЛМ 4 и 5; 43,5 %).

В целом анализ ландшафтной структуры Новокузнецкого района показал доминирование (46 % от площади района) лесных ландшафтов низкогорий. Долинные ландшафты рек занимают 29,1 % территории. Кроме того, здесь отмечены уникальные для Сибири лесные ландшафты с участием липы (1,8 %) и редкие для исследуемого района степные ландшафты Кузнецкой межгорно-котловинной провинции.

Характеристика потенциальной природной устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию. Устойчивость — это способность природных систем сохранять свою структуру и функции при воздействии внешних факторов [21]. Она зависит от свойств самих систем (структуры, направленности геохимических и геофизических процессов) и особенностей действия внешних факторов. Потенциальная устойчивость природных систем рассматривается как своего рода фоновое состояние устойчивости. Оценка потенциальной устойчивости основана на методах нормирования отдельных показателей с последующим их суммированием по балльной системе [17].

Из предложенных И.В. Орловой [17] показателей устойчивости ландшафтов экспертным путем было отобрано девять пригодных для оценки угледобывающих районов Кемеровской области (табл. 1). Источником информации при характеристике количественных почвенных показателей региона служили работы С.С. Трофимова [22] и А.А. Роде [23]. Крутизна склонов рассчитана на основе цифровой модели местности SRTM-90 [24].

Баллы, полученные по каждому показателю, суммировались. Максимально возможный балл, характеризующий наибольшую устойчивость, принят за 100 %, все остальные баллы выражены в процентах, для чего выполнен перерасчет суммарных баллов по формуле [25]:

$$C = \frac{100 \sum_{g=1}^n C_g}{Q},$$

где C — оценка потенциальной устойчивости ландшафта к техногенному воздействию, %; C_g — балл по каждому показателю; Q — максимально возможная сумма баллов; g — порядковый номер показателя; n — количество показателей.

По результатам оценки потенциальной устойчивости (C) проведена типизация ландшафтов от более устойчивых (5 баллов) к менее устойчивым (1 балл), выделено пять типов: 5 — устойчивые ($C = 81–100$ %); 4 — относительно устойчивые (61–80 %); 3 — малоустойчивые (41–60 %); 2 — неустойчивые (21–40 %); 1 — весьма неустойчивые (менее 20 %).

Анализ картосхемы (см. рис. 1) показал, что 50 % исследуемых ландшафтов являются устойчивыми к антропогенному воздействию; 36 % — относительно устойчивыми и 14 % — малоустойчивыми; неустойчивые и весьма неустойчивые на территории Новокузнецкого района не представлены. Максимальный вклад в снижение устойчивости ландшафта в условиях Новокузнецкого района вносят показатели, связанные с рельефом (геохимическое положение, крутизна склона).

Наиболее устойчивыми являются ландшафты водоразделов и приводораздельных пологих склонов с осиново-березовыми колками или суходольными остепненными разнотравными лугами (см. рис. 1, ЛМ 1, 2, 4, 5, 7, 14–16). Самая низкая устойчивость отмечена для крутосклонных ландшафтов с разреженным древесным покровом или сырыми хвойными лесами и заболоченных участков речных долин (ЛМ 10, 13, 20) (см. рис. 1).

Таблица 1

Шкала показателей потенциальной устойчивости ландшафтов к техногенному воздействию, по [17] с изменениями авторов

Показатель	Потенциальная устойчивость ландшафтов, балл				
	0	1	2	3	4
Геохимическое положение ландшафта	Аккумулятивное	Трансаккумулятивное	Транзитное	Трансэлювиальное	Элювиальное
Крутизна склонов, град	Крутые и обрывистые ($\geq 20,1$)	Средней крутизны (10,1–20)	Покатые (5,1–10)	Пологие (3,1–5)	Ровные, плоские (0–3)
Степень гидроморфности почв	Гидроморфные	–	Полугидроморфные	–	Автоморфные
Механический состав почвы	Песок	Супесь	Легкий суглинок	Средний суглинок	Тяжелый суглинок, глина
Тип водного режима	Десуктивно-выпотной и выпотной	Непромывной	Периодически промывной	Промывной	Мерзлотный
Мощность гумусо-аккумулятивного горизонта (A + AB), см	<3	3–9	10–25	26–80	>80
Содержание гумуса в слое 0–20 см, %	<2	Слабогумусированная (2–4)	Малогумусная (4,1–6)	Среднегумусная (6,1–9)	Тучная (>9)
Кислотность почвенного раствора (pH _{вод})	Сильнокислая ($\leq 4,5$) или сильнощелочная ($\geq 8,6$)	Кислая (4,5–5,0) или слабощелочная (7,6–8,5)	Слабокислая (5,1–5,5) или слабощелочная (7,0–7,5)	Близкая к нейтральной (5,6–6,0)	Нейтральная (6,1–7,0)
Интенсивность биологического круговорота	Очень слабая (>15)	Слабая (15–6,1)	Средняя (6–2,6)	Сильная (2,5–1)	Очень сильная (<1)

Примечание. Прочерк обозначает переходные показатели, которые при оценке не учитывались.

Характеристика антропогенной преобразованности ландшафтов. Для оценки степени антропогенной преобразованности (АП) ландшафтов необходимо было выявить структуру их хозяйственного использования и рассчитать средневзвешенный по площади коэффициент АП.

Картосхема, отражающая структуру хозяйственного использования естественных ландшафтов, сформирована в ArcGIS с помощью оверлейной операции пересечения слоев «Виды использования земель» и «Ландшафтная карта» (рис. 2). При формировании первого слоя («Виды использования земель») для Новокузнецкого района по космическим снимкам и картографическим материалам крупного и среднего масштаба было выделено восемь видов хозяйственного использования земель: населенные пункты и промышленные зоны, угольные разрезы, железные дороги, автомобильные дороги, пашни и залежи, искусственные леса, естественные леса и особо охраняемые природные территории (ООПТ). Для каждого из видов земель на основе рекомендаций Б.И. Кочурова [11] с учетом горнодобывающей специализации региона был принят коэффициент антропогенной преобразованности (k_i), который для территорий, занимаемых населенными пунктами, промышленными зонами, угольными разрезами и шахтами (высшая степень АП) составил 6; железных и автомобильных дорог (очень высокая) — 5; пашен и залежей (высокая) — 4; искусственных лесов (средняя) — 3; естественных лесов (низкая) — 2; для ООПТ (очень низкая) — 1.

Наложение границ разных видов земель на ландшафтные контуры выявило сложную структуру хозяйственного использования последних и, соответственно, необходимость учета вклада каждого хозяйственного выдела в формирование общей антропогенной преобразованности ландшафта. Поэтому для каждого ландшафтного контура рассчитан средневзвешенный по площади коэффициент антропогенной преобразованности (\bar{k}_i) по формуле

$$\bar{k}_i = \frac{\sum_{j=1}^n k_{ij} S_{ij}}{S_i},$$

где k_{ij} — коэффициент АП в пределах j -й, соответствующей определенному виду хозяйственного использования земель, части i -го ландшафтного контура; n — общее количество видов хозяйственного

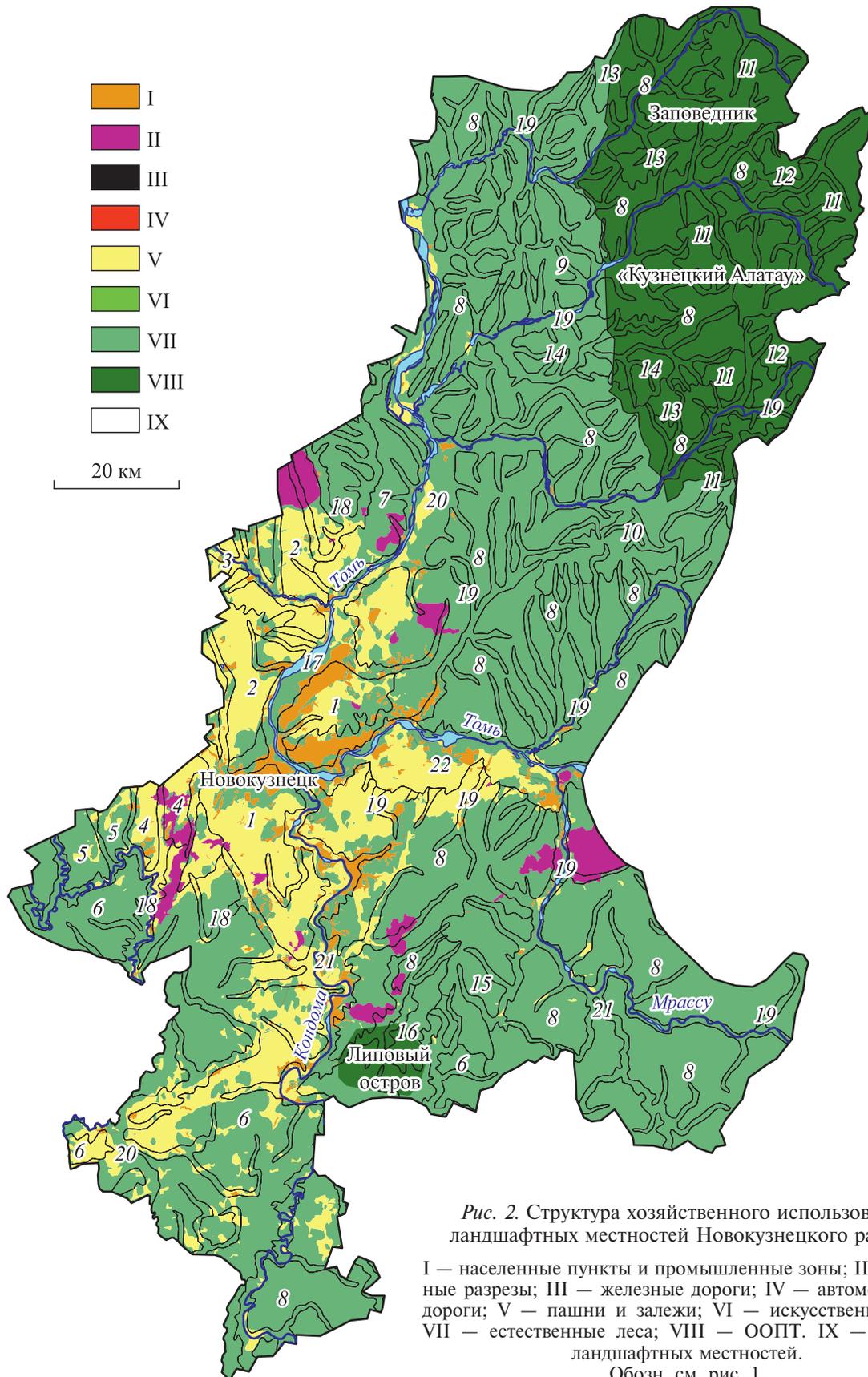


Рис. 2. Структура хозяйственного использования ландшафтных местностей Новокузнецкого района.

I — населенные пункты и промышленные зоны; II — угольные разрезы; III — железные дороги; IV — автомобильные дороги; V — пашни и залежи; VI — искусственные леса; VII — естественные леса; VIII — ООПТ. IX — границы ландшафтных местностей.

Обозн. см. рис. 1.

Таблица 2

Структура хозяйственного использования земель (%) и средневзвешенный по площади коэффициент АП ландшафтов (выборка)

Номер ЛМ	Населенные пункты и промышленные зоны	Угольные разрезы	Железные дороги	Основные автомобильные дороги	Пашни и залежи	Леса естественные и искусственные	ООПТ	\bar{k}_i	Степень АП ландшафтов
1	14,5	1,7	0,03	0,06	50,5	33,2	—	3,7	Высокая
2	2,3	9,1	0,02	0,01	71,0	17,6	—	3,9	»
3	0,5	—	—	—	82,1	17,3	—	3,7	»
4	4,3	19,1	—	0,04	61,0	15,5	—	4,2	»
10	—	—	—	—	—	100,0	—	1,9	Низкая
11	—	—	—	—	—	1,6	98,4	1,2	Очень низкая
15	—	—	—	0,05	0,05	99,9	—	2,0	Низкая
19	1,0	0,8	0,01	0,01	2,1	58,9	37,3	1,7	»
20	1,0	0,4	—	0,02	13,1	79,1	6,4	2,1	»
21	6,3	—	—	0,07	18,1	74,0	—	2,9	Средняя

Примечание. Прочерк — данный вид использования земель в рамках исследования не представлен.

использования земель в пределах i -го ландшафтного контура; S_{ij} — доля j -й части от площади i -го ландшафтного контура; S_i — общая площадь i -го ландшафтного контура.

Рассчитанные значения \bar{k}_i находятся в интервале от 1 до 4,2. Для возможности сопоставления с показателями устойчивости ландшафтов они были разделены на четыре класса методом естественных границ с помощью ArcGIS. Это позволило более объективно провести относительную дифференциацию исследуемой территории по степени антропогенной преобразованности в границах ландшафтных местностей и выделить участки с очень низкой ($\bar{k}_i = 1-1,1$), низкой ($\bar{k}_i = 1,2-2,1$), средней ($\bar{k}_i = 2,2-2,7$) и высокой ($\bar{k}_i = 2,8-4,2$) степенью АП (табл. 2, рис. 3).

Анализ показал, что очень низкая степень АП характеризует состояние ландшафтов водораздельной части Кузнецкого Алатау, низкая отмечена для основной части водораздельных и склоновых ландшафтов района исследований. Средняя степень АП характерна для долинных ландшафтов р. Томи и ее крупных притоков — рек Мрассу и Кондома. Высокая степень АП отмечена для водораздельных и склоновых лесных ландшафтов в пределах агломерации г. Новокузнецка.

Оценка геоэкологической стабильности геосистем. Данная оценка основана на сопоставлении с помощью ArcGIS степени антропогенной преобразованности и устойчивости ландшафтов посредством матрицы, представленной в табл. 3. Для Новокузнецкого района выделены ландшафты трех степеней геоэкологической стабильности: относительно стабильные, стабильные и весьма стабильные (рис. 4).

Таблица 3

Матрица для оценки степени геоэкологической стабильности ландшафтов Новокузнецкого района

Устойчивость	Средневзвешенный по площади коэффициент АП, \bar{k}_i			
	2,8–4,2	2,2–2,7	1,2–2,1	1,0–1,1
	Степень АП			
	высокая	средняя	низкая	очень низкая
Неустойчивые, 2 балла	ВН	Н	ОС	ОС
Малоустойчивые, 3 балла	Н	ОС	С	ВС
Относительно устойчивые, 4 балла	ОС	С	ВС	ВС
Устойчивые, 5 баллов	ОС	С	ВС	ВС

Примечание. Степень геоэкологической стабильности ландшафтов: ВН — весьма нестабильная, Н — нестабильная, ОС — относительно стабильная, С — стабильная, ВС — весьма стабильная. Жирным шрифтом показаны степени АП, представленные на рис. 4.

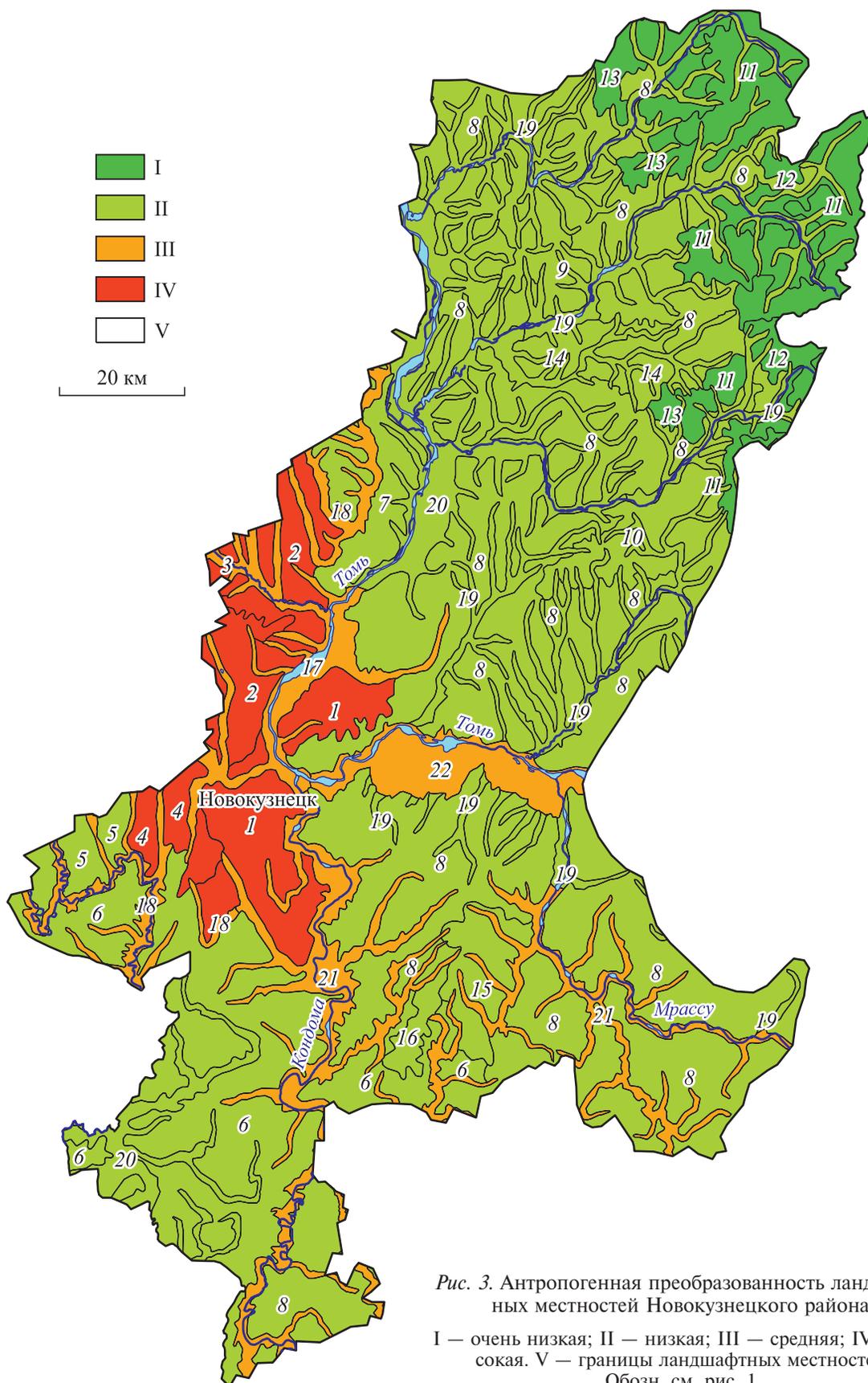


Рис. 3. Антропогенная преобразованность ландшафтных местностей Новокузнецкого района.

I — очень низкая; II — низкая; III — средняя; IV — высокая. V — границы ландшафтных местностей. Обозн. см. рис. 1.

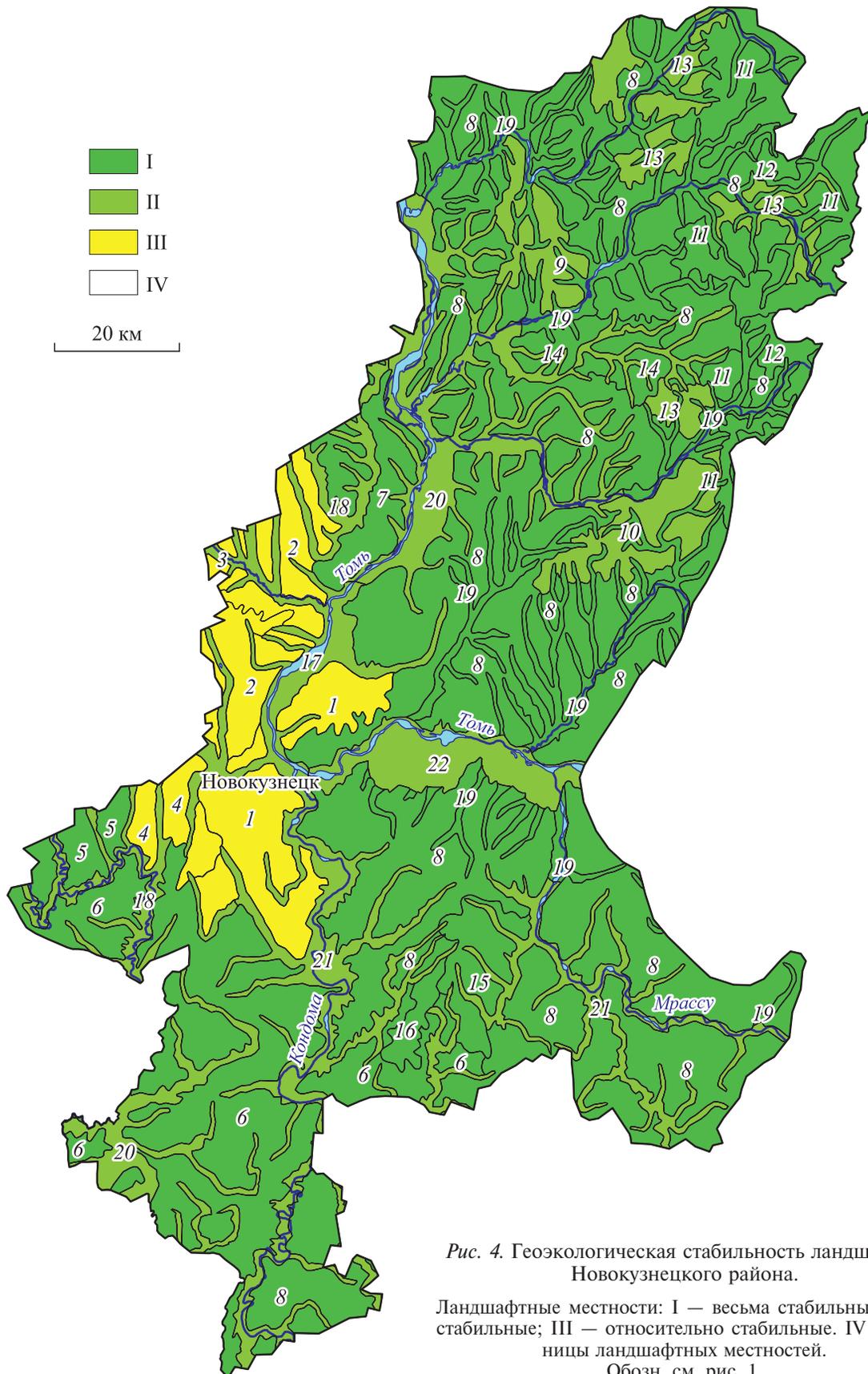


Рис. 4. Геоэкологическая стабильность ландшафтов Новокузнецкого района.

Ландшафтные местности: I — весьма стабильные; II — стабильные; III — относительно стабильные. IV — границы ландшафтных местностей. Обозн. см. рис. 1.

Относительно стабильные ландшафты характеризуются сочетанием: низкой ($\bar{k}_i = 2$) или очень низкой ($\bar{k}_i = 1$) степени АП в пределах неустойчивых (2 балла) ландшафтов; средней ($\bar{k}_i = 3$) степени АП в пределах малоустойчивых (3 балла) ландшафтов; высокой ($\bar{k}_i = 2,8-4,2$) степени АП в пределах относительно устойчивых (4 балла) и устойчивых (5 баллов) ландшафтов.

Степень АП — от незначительной до значительной. Требуется организовать постоянный мониторинг состояния природно-ресурсного и экологического потенциала ландшафтов. В случае необходимости применяется нормирование антропогенных нагрузок на ландшафты и проводятся мероприятия по рекультивации.

Стабильные ландшафты характеризуются: низкой ($\bar{k}_i = 2$) или очень низкой ($\bar{k}_i = 1$) степенью АП в пределах малоустойчивых (3 балла) ландшафтов; средней ($\bar{k}_i = 3$) степени АП в пределах относительно устойчивых (4 балла) и устойчивых (5 баллов) ландшафтов. При стабильном состоянии преобразованы в основном отдельные компоненты ландшафтов. На некоторых участках требуется организация ежеквартального мониторинга состояния природно-ресурсного и экологического потенциала ландшафтов.

Весьма стабильное состояние реализуется при низкой ($\bar{k}_i = 2$) или очень низкой ($\bar{k}_i = 1$) степени АП в пределах относительно устойчивых (4 балла) и устойчивых (5 баллов) ландшафтов. При весьма стабильном состоянии ландшафты незначительно преобразованы. Мониторинг состояния природно-ресурсного и экологического потенциала ландшафтов не требуется.

В целом наибольшая часть Новокузнецкого района приходится на водораздельные склоновые ландшафты Кузнецкого Алатау с пихтово-осиновой черневой тайгой, а также долин мелких рек и ручьев, с весьма стабильным геоэкологическим состоянием (66,8 % площади).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований на основе ландшафтного подхода с использованием ГИС-технологий для горнодобывающих районов предложена комплексная методика геоэкологической оценки. На основании рассчитанных показателей потенциальной устойчивости и степени антропогенной трансформации все ландшафты Новокузнецкого района Кемеровской области разделены по трем степеням геоэкологической стабильности (относительно стабильные, стабильные и весьма стабильные).

Разработанный алгоритм геоэкологической оценки достаточно универсален и в случае уточнения отдельных положений методики применим для других горнодобывающих территорий.

Полученные результаты востребованы при планировании развития территории, разработке программ реабилитации нарушенных земель, регламентации хозяйственной деятельности, организации экологического мониторинга, а также при обосновании выбора территорий, в первую очередь нуждающихся в реализации мероприятий по сохранению биоразнообразия.

Работа выполнена в рамках проекта Программы развития ООН, Глобального экологического фонда и Минприроды России «Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России» (2012–2017 гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С.Н. Принципы и технология геоэкологической оценки Михайловского горнорудного района КМА методами космического дистанционного зондирования и наземных исследований: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — М.: Изд-во Всерос. НИИ минерального сырья, 2002. — 20 с.
2. Белан Л.Н. Геоэкологические основы природно-техногенных экосистем горнорудных районов Башкортостана: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — М., 2007. — 50 с.
3. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Методические основы комплексной геоэкологической оценки территорий. — М.: Наука, 2008. — 81 с.
4. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горнопромышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5 [Электронный ресурс]. — <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15029> (дата обращения 11.10.2016).
5. Rufaut C.G., Craw D. Geocology of ecosystem recovery at an inactive coal mine site, New Zealand // Environmental Earth Sciences. — 2010. — Vol. 60, N 7. — P. 1425–1437 [Электронный ресурс]. — <http://link.springer.com/article/10.1007/s12665-009-0278-z> (дата обращения 11.10.2016).

6. **Jiang X., Lu W., Zhao H., Yang Q., Chen M.** Quantitative evaluation of mining geo-environmental quality in North-east China: comprehensive index method and support vector machine models // *Environmental Earth Sciences*. — 2015. — Vol. 73, N 12. — P. 7945–7955 [Электронный ресурс]. — <http://link.springer.com/article/10.1007/s12665-014-3953-7> (дата обращения 10.11.2016).
7. **Доклад** о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2014 г. — Кемерово: Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области, 2015. — 459 с.
8. **Исаченко А.Г.** Ландшафтное районирование России как основа для регионального эколого-географического анализа // *Изв. РГО*. — 1996. — Т. 128, № 5. — С. 12–24.
9. **Сочава В.Б.** Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 320 с.
10. **Кочуров Б.И.** Оценка устойчивости почв к загрязнению // *География и природ. ресурсы*. — 1983. — № 4. — С. 55–60.
11. **Кочуров Б.И.** Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. — Смоленск: Изд-во Смоленск. ун-та, 1997. — 153 с.
12. **Физико-географическое районирование СССР.** Характеристика региональных единиц / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. — 575 с.
13. **Арманд Д.Л.** Типологическое и индивидуальное районирование ландшафтной сферы // *Современные проблемы природного районирования*. — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1975. — С. 88–110.
14. **Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.** Физическая география СССР. Азиатская часть: Учебник. — М.: Высш. шк., 1987. — 448 с.
15. **Глазовская М.А.** Технобиогермы — исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. — 1972. — № 6. — С. 21–34.
16. **Снакин В.В., Кречетов П.П., Мельченко В.Е., Алябина И.О.** Оценка состояния почв и ландшафтов для целей экологического нормирования // *Биогеохимические основы экологического нормирования*. — 1993. — № 5. — С. 196–211.
17. **Орлова И.В.** Ландшафтно-агроэкологическое планирование территории муниципального района. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 254 с.
18. **Экологическая карта Кемеровской области.** М-б 1:500 000 / Ред. Г.И. Грицко, И.М. Гаджиев. — Кемерово: Изд-во Кемер. науч. центра СО РАН, 1995. — 2 л.
19. **Государственная геологическая карта: N-45 (Новокузнецк).** М-б 1:1 000 000. Сер. Алтай-Саянская / Сост. Г.А. Бабин, А.А. Юрьев, А.И. Бычков, В.С. Дубский, А.Ф. Щигрев. — Новокузнецк: Запсибгеолсъемка, 2007. — 1 л.
20. **Ландшафтная карта Кемеровской области.** М-б 1:500 000 / Авт.-сост. С.В. Бобров, З.В. Лысенкова, Л.Н. Пурдик. — Барнаул: Изд-во Ин-та водных и экологических проблем СО РАН, 1991. — 1 л.
21. **Емельянов А.Г.** Основы природопользования: Учебник. — М.: Академия, 2008. — 304 с.
22. **Трофимов С.С.** Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. — Новосибирск: Наука, 1975. — 289 с.
23. **Роде А.А.** Основы учения о почвенной влаге. Т. 1: Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 664 с.
24. **CGIAR-CSI SRTM 90m DEM Digital Elevation Database** [Электронный ресурс]. — <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения 10.10.2016).
25. **Рянский Н.Ф.** Эколого-экономическое районирование в регионе. — Владивосток: Дальнаука, 1993. — 154 с.

Поступила в редакцию 17 марта 2017 г.