

К.С. САВЕНКО, Ю.В. РОБЕРТУС

Горно-Алтайский государственный университет,
649000, Горно-Алтайск, ул. Ленина, 1, Россия, xenyu.pavlova-ra@yandex.ru, ariecol@mail.gornyu.ru

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Проведен анализ отечественных и зарубежных подходов к оценке экологического состояния рекреационных ландшафтов. Выделено две основные группы подходов, основанных на регламентации рекреационных нагрузок и определении предельно допустимых изменений показателей состояния почвенно-растительного покрова. Изучен большой комплекс физических свойств и показателей химического состава почв на десяти типовых рекреационных участках и смежных с ними фоновых площадках. Для почв определены твердость, плотность, влажность, порозность, магнитная восприимчивость, гранулометрический состав, рН водный, емкость поглощения, содержание гумуса и карбонатов. Изучен комплекс биофизических и морфометрических параметров березы повислой и сосны обыкновенной: температура и влажность ствола и корней, величина радиального прироста, величина асимметрии листовой пластинки. Установлен направленный характер трансформации изученных свойств и показателей почв и древесных пород при усилении рекреационных нагрузок. Предложен ряд интегральных и параметрических показателей оценки экологического состояния почв, поверхностных вод и жизненного состояния деревьев, в том числе определяемых с использованием экспресс-анализаторов. По индексу кислородного режима выделены три основных класса качества поверхностных вод на рекреационных территориях: высокий, средний и низкий. Адаптирована для условий региона методика предельно допустимых изменений показателей почвенно-растительного покрова для оценки экологического состояния рекреационных участков. Определены их критические значения для третьей стабилизированной стадии дигрессии почв и третьей категории жизненного состояния древесных пород. Разработана серия номограмм для приближенной оценки, в том числе в экспресс-варианте, стадий дигрессии почв, жизненного состояния древостоя, класса качества поверхностных вод рекреационных территорий Республики Алтай.

Ключевые слова: рекреационные ландшафты, компоненты, методические подходы, классы поверхностных вод, предельно допустимые изменения показателей, номограммы.

K.S. SAVENKO, Yu.V. ROBERTUS

Gorno-Altai State University,
649000, Gorno-Altai, ul. Lenina, 1, Russia, xenyu.pavlova-ra@yandex.ru, ariecol@mail.gornyu.ru

NEW APPROACHES TO ASSESSING THE ECOLOGICAL STATE OF RECREATIONAL LANDSCAPES OF THE ALTAI REPUBLIC

An analysis of domestic and foreign approaches to assessing the ecological state of recreational landscapes was carried out. We identified two main groups of approaches based on the regulation of recreational loads and on determining the maximum permissible changes in indicators of the state of the soil and vegetation cover. A large complex of physical properties and indicators of the chemical composition of soils on ten typical recreational sites and adjacent background sites was studied. Hardness, density, humidity, porosity, magnetic susceptibility, granulometric composition, pH water, absorption capacity, humus and carbonate content were determined for soils. A complex of biophysical and morphometric parameters of hanging birch and common pine: the temperature and humidity of the trunk and roots, the value of radial growth, and the value of the asymmetry of the leaf blade were studied. The directional character of the transformation of the properties and indicators of soils and wood species studied under increased recreational loads was established. A number of integral and parametric indicators for assessing the ecological state of soils, surface waters and the living condition of trees, including those determined using express-analyzers, have been proposed. According to the oxygen regime index, three main classes of surface water quality in recreational areas were identified: high, medium and low. The method of maximum permissible changes in the indicators of soil and vegetation cover for the assessment of the ecological state of recreational areas has been adapted to the conditions of the region. Their critical values for the third stabilized stage of soil digression and the third category of tree species life condition were determined. A series of nomograms for an approximate assessment, including in the Express version, of the stages of soil digression, the vital state of the forest stand, and the quality class of surface waters of the recreational territories of the Altai Republic was developed.

Keywords: recreational landscapes, components, methodological approaches, classes of surface waters, maximum allowable changes of parameters, nomograms.

ВВЕДЕНИЕ

Туризм представляет собой приоритетное направление социально-экономического развития Республики Алтай (РА), основу ее инвестиционной привлекательности. Ежегодно, по данным республиканского Министерства природных ресурсов экологии и туризма [1], Республику посещает более 2 млн чел., большинство из которых привлекают сохранившие первозданный облик высокоаттрактивные природные ландшафты. Их локализация в расчлененной горной местности, обладающей невысокой рекреационной емкостью, в сочетании с неоптимальным размещением туристических объектов и зачастую запредельными нагрузками, является основным фактором ускоренной деградации рекреационных территорий (ландшафтов) региона.

В настоящее время минимизация негативных последствий массовой рекреации входит в число экологических приоритетов РА [2]. Решению этой важной проблемы препятствует отсутствие научно обоснованных методических подходов для оценки экологического состояния рекреационных территорий.

В РФ до сих пор не разработаны нормативно-методические документы по оценке экологического состояния территорий, используемых в рекреационных целях (не считая ОСТ 56-100-95 [3]). Отсутствие унифицированных критериев оценки таких территорий затрудняет регламентацию рекреационного природопользования, что в конечном итоге приводит к необратимым негативным изменениям ценных и уникальных природных ландшафтов, их деградации и выводу из использования.

С учетом этой ситуации, разработка методических подходов к оценке экологического состояния рекреационных территорий на основе комплекса универсальных количественных показателей (критериев) представляется актуальным приоритетом рационального природопользования не только для РА, но и для других субъектов страны.

Рекреация — это специфический вид антропогенной деятельности, воздействующий на природную среду посредством механических, химических, акустических, термических и других факторов. В условиях РА негативное воздействие массовой рекреации наиболее характерно для горно-долинных лесных ландшафтов и проявлено, главным образом, в форме деградации почвенно-растительного покрова и ухудшения жизненного состояния древостоя [4]. Ведущую причину этих процессов представляет собой вытаптывание, вызывающее уплотнение почвы [5], исчезновение лесной подстилки, изменение видового состава растений, физических свойств и химического состава почв. Заметное воздействие на ландшафты оказывает также автотранспорт рекреантов [6].

В настоящее время средняя сезонная нагрузка продолжительностью три месяца на основные рекреационные ландшафты РА (Чемальский и Майминский районы) составляет 15,9 чел/га, а среднегодовая — около 3,3 чел/га, что близко к рекомендуемым нормативам допустимой нагрузки — 17,4 и 3,8 чел/га соответственно [6]. При этом на трети используемых участков деградация компонентов рекреационных ландшафтов отвечает 3–5-й стадиям. Среднегодовой прирост дигрессии в регионе составляет 5 % и сопоставим с темпами роста рекреационных нагрузок, т. е. увеличение нагрузок приводит к адекватному негативному экологическому «отклику» компонентов рекреационных ландшафтов.

Влияние рекреации на компоненты рекреационных ландшафтов (территорий) освещено в публикациях Н.С. Казанской, С.А. Дыренкова, В.А. Бганцовой, О.Е. Марфениной, Л.А. Соколова и ряда других отечественных исследователей [7–11], использующих в основном качественные, реже количественные, оценки состояния компонентов ландшафтов, что не дает полного представления об их экологическом состоянии, в том числе о степени изменения их биогеоценозов.

Среди существующих методик оценки состояния рекреационных территорий можно выделить два основных подхода, первый из которых распространен в нашей стране и основан на регламентации рекреационных нагрузок [3, 12]. Второй применяется в национальных парках США и базируется на оценке предельно допустимых изменений (ПДИ) состояния кемпинговых зон («Limits of Acceptable Change»), классы которых сопоставимы с отечественными стадиями дигрессии почвенного покрова [13–16].

Все методики оценки экологического состояния рекреационных ландшафтов (территорий) исходят из следующего: диагностика стадий дигрессии почв и/или классов жизненного состояния растений является в них приближенным методом оценки, достоверность которого может быть повышена при дополнительном изучении количественных показателей состояния почвенно-растительного покрова; негативные изменения компонентов рекреационных ландшафтов считаются допустимыми, если они не приводят к нарушению устойчивости экосистем, а процессы разрушения биогеоценозов компенсируются их самовосстановлением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фактический материал для подготовки данной статьи получен авторами при многолетнем изучении экологического состояния компонентов горно-долинных лесных ландшафтов р. Катунь и ее притоков в Майминском и Чемальском районах — основной рекреационной территории Республики Алтай (более 1 млн рекреантов, из них четверть — самодельные туристы).

На этой территории на десяти репрезентативных рекреационных участках и смежных фоновых площадках был изучен большой комплекс физических свойств и показателей химического состава почв, определены значения и связи ряда морфометрических и биофизических параметров древесных эдификаторов — березы повислой (*Betula pendula*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Также оценивались в баллах механическая нарушенность ландшафтов и их устойчивость к рекреационным нагрузкам (пять классов состояния) [6].

Полевое и лабораторное изучение компонентов ландшафтов проведено для большого спектра показателей их состояния: физических свойств, химического состава и микробиологических показателей почв; морфометрических, биофизических, биохимических параметров древесных видов (табл. 1).

Почвы рекреационных участков были изучены в 48 почвенных прикопах глубиной до 0,3–0,5 м, заложенных в разных функциональных зонах (дороги, тропы, стоянки и пр.). В них послойно через 10 см до глубины 50 см методом кольца было отобрано 146 почвенных проб и проведены замеры температуры и твердости почвы с использованием, соответственно, пирометра AR300 и твердометра TYD-1.

Водопроницаемость почв оценивалась экспериментальным методом заливаемых площадей с применением кольцевого инфильтрометра EJKELKAMP P09.04. Биологическая активность почвы определялась аппликационным методом путем размещения на глубине 10 см пластинок с фильтрами «белая лента», по степени разложения которых оценивался этот показатель.

Гранулометрический состав почв изучен методом сухого рассеивания на фракции с использованием набора стандартных сит от 0,05 до >1 мм. Измерение магнитной восприимчивости проводилось с пятикратным повтором каппаметром КМ-7 на пробах объемом 100 см³, помещенных в фарфоровую чашку.

Изучение древесных видов проведено для 47 модельных берез и 32 сосен, по 103 и 69 образцам соответственно. Для них были установлены основные таксационные показатели, категория жизненного состояния. Измерения температуры и влажности стволов и корней березы проводились на их северной стороне с 5–7-кратным повтором в период интенсивного роста (июль). Температура измерялась с помощью инфракрасного пирометра AR300, влажность — измерителем влажности древесины micro HYDRO. Замеры проводились в ствольной части дерева на высоте 1,5 м и в корнеобитаемом слое почвы на глубине 0,5 м.

Радиальный прирост за последние 5 и 20 лет определялся под микроскопом МБС-9 по древесным кернам, взятым при помощи возрастного бура Haglof.

Таблица 1

Изученные свойства и показатели состояния компонентов природных ландшафтов Республики Алтай

Компонент природных ландшафтов	Свойства, показатели и характеристики	Изученный фактор
Почвы	Физические	Температура, твердость, плотность сложения, плотность твердой фазы, пористость, пористость аэрации, влажность, магнитная восприимчивость, механический состав, фильтрационные свойства
	Микробиологические	Присутствие патогенной микрофлоры и паразитов, целлюлозолитическая активность
	Химический состав	ЕП, рН, солесодержание, карбонатность, гумус, обменный кальций и калий, фосфаты, нитраты, нефтепродукты, содержание 38 химических элементов
Древесные виды	Таксационные	Длина кроны, жизненное состояние, проективное покрытие, радиальный прирост
	Морфометрические	Билатеральная асимметрия листовой пластинки, длина хвои и осевых побегов, число хвоинок и поврежденной хвои
	Биофизические	Температура ствола и корнеобитаемого слоя, влажность ствола и корней
	Биохимические	Содержание в золе 38 химических элементов

Описание травостоя проводилось на учетных площадках размером 1 × 1 м, равномерно распределенных по пробной площади. Оно состояло в определении доминантных видов и разделении их на аборигенные и привнесенные. Также оценивались проективное покрытие травостоя и степень нарушенности лесной подстилки на всей пробной площади и в проекции крон модельных деревьев.

Экологическая обстановка на изученных участках рекреации оценивалась также методом ПДИ по следующим показателям: густота и состав растительности; площадь, лишенная растительного покрова; степень повреждения древесных видов; наличие подроста и подлеска; развитие тропиной сети и др. По сумме баллов ПДИ выделено пять классов состояния рекреационных ландшафтов РА — от условно неизменного (I класс) до очень сильно измененного состояния (V класс).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основная цель проведенного исследования заключалась в изучении экологических последствий многолетнего массового отдыха на участках неорганизованной рекреации, а также в выработке подходов к их количественной оценке и в разработке методических рекомендаций по их апробации и использованию природоохранными органами региона.

В основе предлагаемых методических подходов к оценке экологического состояния рекреационных территорий (ландшафтов) РА лежит изучение широкого спектра физических свойств и показателей химического состава (ФХС) фоновых и рекреационных почв на участках разных стадий дигрессии (твердость, плотность, влажность, порозность, магнитная восприимчивость, гранулометрический состав, рН водн., емкость поглощения, содержание гумуса, карбонатов и др.).

Оценка экологического состояния древесных видов основана на изучении комплекса их биофизических и морфометрических параметров: температуры и влажности ствола и корней, величины радиального прироста, величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки и др. (рис. 1).

Предлагаемые подходы базируются на установленных фактах направленной трансформации вышеотмеченных ФХС почв при усилении рекреационных нагрузок. В частности, в них увеличиваются относительно фона значения рН водного (подщелачивание на 2–3 ед.), на 20–50 % содержание физического песка (ФП), до 3–5 раз содержание карбонатов (CaCO₃) и значения магнитной восприимчивости (МВ). Одновременно в них в 1,5–2 раза уменьшаются содержание гумуса и емкость поглощения (ЕП). Идентичные изменения характерны для биофизических и морфометрических параметров древесных видов, в частности, для флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой [17].

Учет этих закономерностей положен в основу предлагаемых интегральных и параметрических расчетных показателей экологического состояния почв и древесных пород рекреационных ландшафтов РА. В частности, при оценке состояния почв предлагается использовать степень отклонения ис-



Рис. 1. Подходы к оценке экологического состояния рекреационных территорий.

следованных величин ФХС от их фоновых значений. Интегральная величина этих тесно связанных между собой отклонений может быть выражена в виде мультипликативных и аддитивных показателей и рассчитана как для всего комплекса ФХС, так и для их отдельных групп, например, водно-физических свойств (плотности, твердости, пористости, влажности). Расширенный вариант предложенного безразмерного показателя — индекса состояния почв (ИСП) — имеет следующий вид:

$$ИСП = \frac{pH/фон \times \Phi П/фон \times МВ/3 фон \times CaCO_3/4 фон}{гумус/фон \times ЕП/фон} \quad (1)$$

Числитель этого показателя образует произведение нарастающих при рекреации значений ФХС, нормированных на их местный фон (значений магнитной восприимчивости и карбонатности — на 3 и 4 фона соответственно, для выравнивания их более высокого удельного вклада), а знаменатель — произведение значений нормированных на фон «уменьшающихся» показателей ФХС.

Для предварительного изучения состояния почв предлагается использовать «бюджетный» вариант его оценки по индексу ИСП₁ (2), основная часть составляющих которого определяется в полевых условиях с использованием экспресс-анализаторов (рН-метр, каппаметр, тест-комплект «щелочность», набор сит):

$$ИСП_1 = pH/фон \times \Phi П/фон \times МВ/3 фон \times CaCO_3/4 фон. \quad (2)$$

Выделены следующие классы состояния почв по величине ИСП: слабо измененные (ИСП < 2), умеренно (2–5), высоко (5–10) и очень сильно измененные почвы (ИСП > 10). Для индекса ИСП₁ границы этих классов в два раза меньше. Кроме них, разработаны другие интегральные и параметрические показатели состояния почв и древостоя, в том числе определяемые экспресс-методами (табл. 2).

Применение метода эколого-физиологической диагностики категорий состояния древесных пород, который предполагает выявление их биометрических показателей, позволило построить номограммы для определения жизненного состояния, в частности березы, на участках неорганизованной рекреации по градиентам температур и влажности ее стволов и корней. Они уточняют термоэкспресс-метод диагностики физиологического состояния древесных растений [18], основанный на зависимости между интенсивностью водного тока в стволе, его температурой и общим состоянием дерева.

Все предложенные интегральные и параметрические показатели экологического состояния компонентов рекреационных ландшафтов, в том числе физических свойств (ИПП_{ФС}) и химического состава (ИПП_{ХС}) почв, а также показатели жизненного состояния сосны (ИПД_{СС}) и березы (ИПД_{СБ}) тесно увязаны с уровнем рекреационного воздействия и, как следствие, со стадиями рекреационной дигрессии почв (рис. 2) [19, 20].

Анализ зависимости состояния древостоя изученных участков РА со стадиями рекреационной дигрессии почв и механической нарушенностью ландшафтов показал наличие между ними тесных корреляционных связей, аппроксимируемых однотипными линейными функциями. Они позволяют говорить об идентичности процессов, происходящих под воздействием рекреации в ландшафтах в целом и в отдельных их компонентах, а также определять примерное состояние почв и древостоя на участках рекреации.

Таблица 2

Показатели экологического состояния почв и древостоя рекреационных ландшафтов Республики Алтай

Способы определения	Интегральные (ИПП, ИПД) и параметрические (П) показатели состояния	
	Почва	Древостой
Экспресс-определение	ИПП _{ФС} * = T _{i/φ} × Tв _{i/φ} /В _{i/φ} ; П _{Тв} * = Tв _{i/φ}	П _{ГТ} * = Δ(Tс _{i/φ} – Тп _{i/φ})/L
	ИПП _{ХС} * = рН _{i/φ} × СС _{i/φ} /NO ₃ _{i/φ}	П _{ГВ} * = Δ(Вс _{i/φ} – Вк _{i/φ})/L
Лабораторные анализы	ИПП _{ФС} = ПС _{i/φ} × ПТФ _{i/φ} /ОП _{i/φ} × ПА _{i/φ}	ИПД _{СБ} = Тс _{i/φ} × Тп _{i/φ} × ФА _{i/φ} /Вс _{i/φ} × Вк _{i/φ} × РП5 _{i/φ}
	ИПП _{ХС} = К _{i/φ} × ЕП _{i/φ} /РО4 _{i/φ} × Са _{i/φ} × Г _{i/φ}	ИПД _{СС} = КХ _{i/φ} × ПХ _{i/φ} /ДП _{i/φ} × ДХ _{i/φ} × РП5 _{i/φ}

Примечание. i и φ — значения параметров на рекреационных и контрольных (фоновых) участках соответственно; Т — температура; Тв — твердость; В — влажность; СС — солесодержание; ПС, ПА, ПТФ — плотность сложения, аэрации, твердой фазы; ОП — общая пористость; К, Г — содержание калия, гумуса; ГТ, ГВ — градиенты температуры, влажности; Тс, Вс, Тп, Вк — температура и влажность ствола, почвы, корней; L — расстояние между точками измерений; ФА — флуктуирующая асимметрия листьев; РП5 — радиальный прирост за 5 лет; КХ, ПХ — количество и доля поврежденной хвои; ДХ и ДП — длина хвои и побега. Остальные обозначения см. текст.

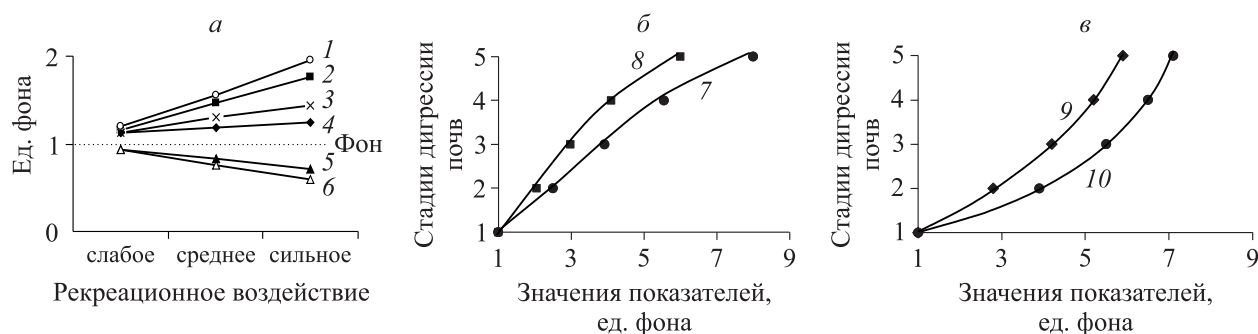


Рис. 2. Зависимость физических свойств и показателей химического состава почв от уровня рекреационного воздействия (а), связь интегральных показателей физических свойств и химического состава почв (б), интегрального показателя состояния древесных пород (в) со стадиями дигрессии почв.

Показатели химического состава: 1 – $\text{CaCO}_3/4$, 2 – $\text{MB}/3$, 3 – ФП, 4 – рН, 5 – гумус, 6 – ЕП. Интегральные показатели: 7 – физических свойств почв, 8 – химического состава почв; состояния древесных пород: 9 – сосны, 10 – березы.

Согласно методическим рекомендациям [21], степень деградации почв определяется по нескольким десяткам показателей и имеет итоговую пятибалльную шкалу оценки (от неизмененных до сильно деградированных). В адаптированном для условий РА варианте использованы показатели состояния почв, изменяющиеся в основном под воздействием рекреации (табл. 3).

Экологическое состояние древесных пород рекреационных ландшафтов предложено оценивать по величине интегральных показателей ИПД и ИПД₁ (для хвойных пород), которые количественно выражают степень их «нарушенности» и представляют собой безразмерные параметры вида:

$$\text{ИПД} = \frac{3 \times \Delta T}{PP \times \Delta B} \quad (3)$$

$$\text{ИПД}_1 = \frac{\Delta T}{PP \times \Delta B} \quad (4)$$

где 3 – зольность листьев, %; ΔT – линейный градиент температур ствола и почвы, °С/м; ΔB – линейный градиент влажности ствола и корней, %/м; PP – средний радиальный прирост за последние 5 лет, мм.

Следует отметить, что установленная зависимость между стадиями рекреационной дигрессии почв и жизненным состоянием древесных видов на рекреационных территориях указывает на «запаздывающий» характер его увеличения по сравнению с приростом дигрессии почв. Так, деградация почв на начальных стадиях имеет прямую зависимость от рекреационных нагрузок. Начиная с 4-й стадии, она замедляется. Для древесных видов, напротив, присуще усиление деградации на последних стадиях дигрессии почв (см. рис. 2). Эти тенденции указывают на более интенсивный, по сравнению с почвами, отклик древостоя на рекреационное воздействие, а также на необратимый характер изменений водно-физических свойств почв на 4–5-й стадиях деградации, т. е. на невозможность самовосстановления исходных ландшафтов на этих стадиях.

На основании установленных зависимостей между состоянием почв рекреационных ландшафтов и показателями их физических свойств и химического состава разработан ряд номограмм для при-

Таблица 3

Показатели степени деградации почв рекреационных территорий (ландшафтов) Республики Алтай

Показатели изменения состояния почв	Степень деградации почв				
	1	2	3	4	5
Уменьшение мощности профиля почв, % от исходного	<3	3–25	26–50	51–75	>75
Увеличение плотности сложения, % от исходного	<10	11–20	21–30	31–40	>40
Уменьшение запасов гумуса в почве, % от исходного	<10	11–20	21–40	41–80	>80
Уменьшение содержания подвижного фосфора, % от исходного	<10	11–20	21–40	41–80	>80
Площадь, лишенная растительности, % от общей площади	<10	11–30	31–50	51–70	>70

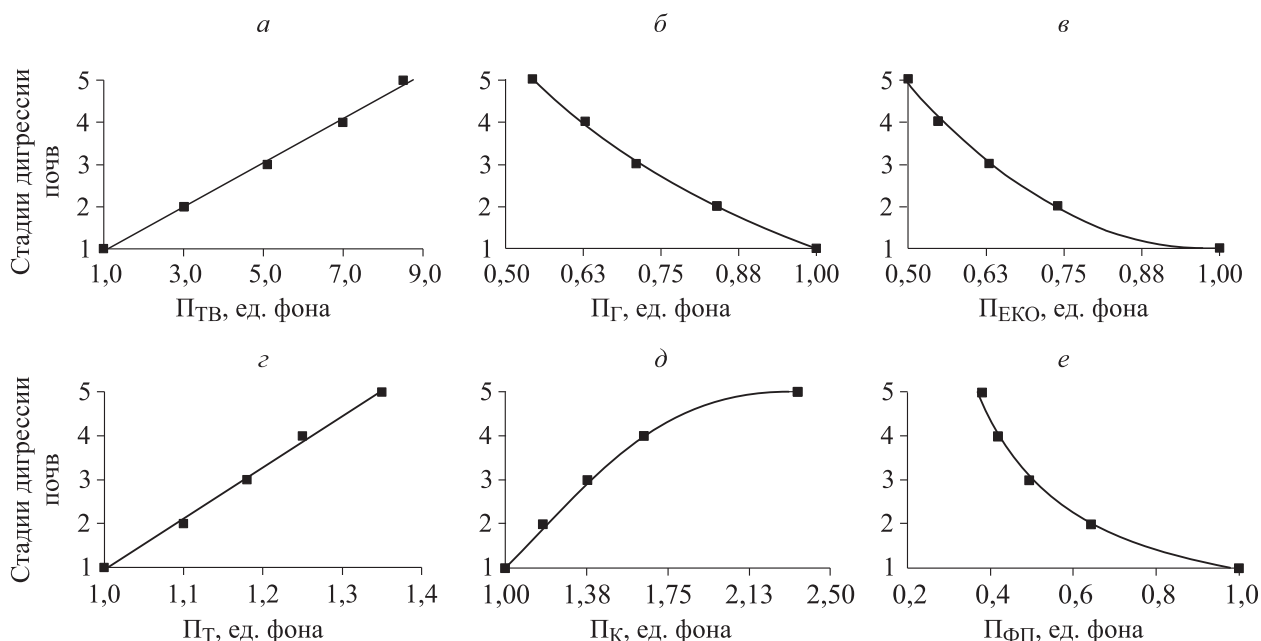


Рис. 3. Номограммы для определения стадии дигрессии рекреационных почв по физическим свойствам и показателям химического состава их поверхностного слоя (0–10 см).

Параметрические показатели: П_{ТВ} — твердость (а), П_Г — содержание гумуса (б), П_{ЕКО} — емкость катионного обмена (в), П_Т — температура (г), П_К — карбонатность (д), П_{ФП} — содержание подвижного фосфора (е).

ближенной оценки стадий дигрессии почв, в том числе по данным экспресс-измерений их твердости и температуры (рис. 3). Отметим, что более достоверной будет оценка стадии дигрессии как средней по всему комплексу предложенных показателей.

Установлено, что метод ПДИ более информативен для выявления негативных экологических последствий на участках рекреации по сравнению с отечественным методом определения стадий дигрессии почв по ОСТ 56-100-95 [3].

С целью адаптации методики ПДИ для оценки экологического состояния рекреационных участков РА применен комплекс из восьми работающих индикаторов, по каждому из которых определен класс состояния, а по всем индикаторам — средний класс их состояния (по средним значениям ПДИ) (табл. 4).

На основании установленных зависимостей ПДИ показателей экологического состояния почв и древесных видов со стадиями дигрессии почв и категориями жизненного состояния древостоя определены их значения для 3-й стабилизированной стадии дигрессии почв и 3-й категории жизненного состояния древостоя, служащие маркерами экологической обстановки (табл. 5).

К числу компонентов рекреационных ландшафтов относятся также природные водные объекты — реки, озера, пруды и пр. Одним из индикаторов их экологического состояния является содержание в воде растворенного кислорода, зависящее от

Таблица 4

Показатели предельно допустимых изменений (ПДИ) природных ландшафтов на рекреационных территориях Республики Алтай ([13], с изменениями авторов)

Показатель ПДИ	Состояние участков (класс)	Среднее значение ПДИ
Густота растительности, %*	Условно неизмененное (1)	1,0–1,50
Состав растительности, %**		
Площадь без растительности, м ²	Слабо измененное (2)	1,51–2,50
Нарушения лесной подстилки, балл	Умеренно измененное (3)	2,51–3,50
Степень повреждения древостоя, %		
Площадь подроста и подлеска, %	Сильно измененное (4)	3,51–4,50
Развитие тропинойной сети, шт.	Очень сильно измененное (5)	4,51–5,0
Проявления следов рекреации, балл		

* Относительно контрольного участка.

** Доля аборигенных видов.

Таблица 5

**Предельно допустимые изменения состояния почв и древесного
рекреационных ландшафтов Республики Алтай**

Компонент природных ландшафтов	Показатель	ПДИ, ед. фона
Почвенный покров (0–10 см)	Твердость поверхности почвы	4,90 ± 0,55
	Температура поверхности почв	1,17 ± 0,03
	Объемная плотность	1,28 ± 0,04
	Содержание гумуса	0,72 ± 0,03
	Содержание фосфора	0,51 ± 0,03
	Карбонатность	1,38 ± 0,06
	Емкость катионного обмена	0,63 ± 0,03
Древесные виды (сосна, береза)	Радиальный прирост березы за 5 лет	0,64 ± 0,02
	Радиальный прирост сосны за 5 лет	0,79 ± 0,02
	Градиент температуры ствола березы	1,30 ± 0,05
	Градиент влажности ствола березы	0,57 ± 0,07
	Асимметрия листа березы	1,50 ± 0,10
	Средняя длина побега сосны 2 года	0,68 ± 0,04
	Средняя длина хвои сосны	0,78 ± 0,03

ряда факторов: характера русловых процессов, наличия фитопланктона, микроорганизмов, степени атмосферной реаэрации воды, а также от уровня загрязнения в процессе рекреационной деятельности.

Для более полной и объективной оценки качества поверхностных вод предлагается индекс кислородного режима (ИКР), дополняющий известные интегральные показатели их качества (ИЗВ, ПХЗ, УКИЗВ). Он представляет собой интегральный показатель (5), учитывающий основные параметры кислородного режима воды (содержание растворенного O₂, ХПК, БПК), нормированные на ПДК (ОБУВ) для вод водоемов рыбохозяйственного назначения. ИКР представляет собой безразмерный параметр, рассчитываемый по формуле

$$ИКР = \frac{C_{ХПК/ОБУВ} \times C_{БПК_5/ПДК}}{C_{O_2/ПДК}} \times 100, \tag{5}$$

где С — значения показателей кислородного режима воды на изученных постах.

По индексу кислородного режима выделены три основных класса качества поверхностных вод: высокий (ИКР < 10), средний (10–30); низкий (>30). Высокий класс качества по ИКР соответствует

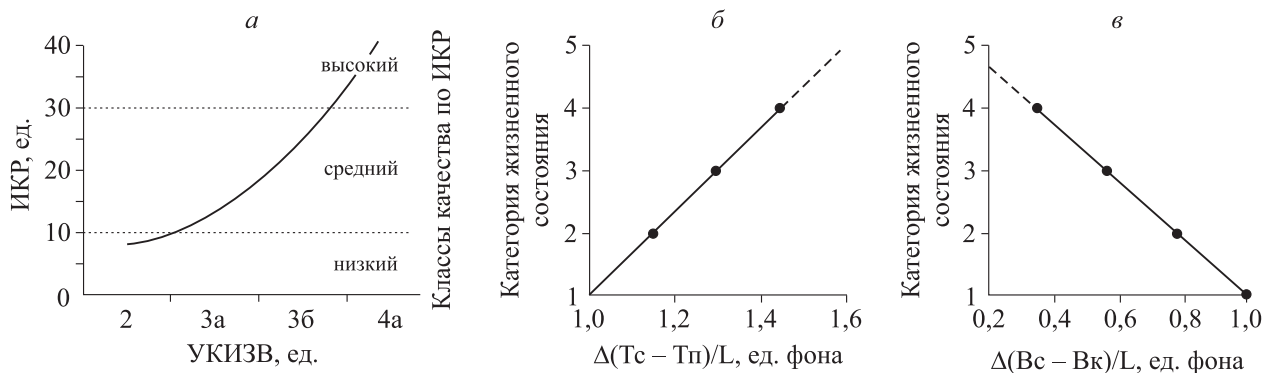


Рис. 4. Номограммы для определения: степени загрязнения воды по ИКР (а), жизненного состояния березы по градиенту температур (б) и влажности ствола и корней (в).

Классы качества воды по УКИЗВ: слабозагрязненные (2) — 1–2 ед., загрязненные (3а) — 2–3 ед., очень загрязненные (3б) — 3–4 ед., грязные (4а) — >4. Параметрические показатели: Тс, Тп — температура ствола, почвы; Вс, Вк — влажность ствола, корней; L — расстояние между точками их измерения. Категории жизненного состояния деревьев: 1 — здоровые, 2 — ослабленные, 3 — сильно ослабленные, 4 — усыхающие, 5 — сухой текущего года.

слабо загрязненным водам (класс 2 по УКИЗВ [22]), средний класс — загрязненным и частично очень загрязненным водам (классы 3а, 3б), а низкий класс — в основном грязным водам класса 4 по УКИЗВ (см. табл. 2).

В практических целях это позволяет использовать более «бюджетный» показатель ИКР для предварительной индикации экологического состояния поверхностных вод рекреационных ландшафтов по номограмме, отражающей обобщенную связь ИКР и УКИЗВ (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе впервые установленных трендов поведения и сопряженности пространственно-временных изменений показателей компонентов рекреационных ландшафтов Республики Алтай разработан комплекс количественных унифицированных показателей их экологического состояния для практического использования в области регламентации рекреационного природопользования.

Полученные зависимости отражают текущее экологическое состояние изученных «индикаторных» компонентов рекреационных ландшафтов региона, но они применимы и для целей прогнозной оценки его изменения путем учета ежегодного и накопленного за конкретный период темпа роста рекреационных нагрузок и сопряженных с ними негативных изменений стадий дигрессии почв и показателей жизненного состояния древостоя.

Предложенный комплекс интегральных и параметрических показателей состояния почвенно-растительного покрова горно-долинных лесных ландшафтов позволяет достоверно диагностировать экологическую обстановку на объектах массовой рекреации и определять стадии их дигрессии (деградации). Для предварительной диагностики экологического состояния почв и древесных пород рекреационных территорий обосновано применение экспресс-методов на основе разработанных номограмм.

Разработанный и апробированный комплекс количественных показателей экологического состояния компонентов рекреационных ландшафтов служит основой для разработки методических рекомендаций по их оценке и может использоваться для дальнейших исследований, а также в практической деятельности природоохранных органов республики. Это будет способствовать минимизации негативных сценариев деградации ценных и уникальных природных ландшафтов (территорий) региона, используемых для целей рекреации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Республики Алтай в рамках научного проекта (20–45–040002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2019 году / Под ред. Ю.В. Робертуса. — Горно-Алтайск: Новый формат, 2020. — 120 с.
2. Пузанов А.В., Робертус Ю.В., Любимов Р.В., Кивацкая А.В., Павлова К.С. Обзор экологических проблем на территории Республики Алтай // Проблемы региональной экологии. — 2015. — № 2. — С. 32–37.
3. ОСТ 56-100-95 «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы» [Электронный ресурс]. — <http://www.jurbase.ru/index.htm> (дата обращения 11.07.2013).
4. Робертус Ю.В., Павлова К.С. Основные проблемы рекреационного природопользования в Республике Алтай и пути их решения // Материалы III Междунар. конф. «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее». — Горно-Алтайск: Изд-во Горно-Алтайск. ун-та, 2013. — С. 381–385.
5. Егоров А.Г. Изменение твердости почв прибрежных территорий среднего течения реки Томи в условиях рекреационного воздействия // Современные проблемы науки и образования. — 2010. — № 2. — С. 9–14.
6. Павлова К.С. Оценка геоэкологических последствий массового неорганизованного отдыха на территории Катунского рекреационного района (Республика Алтай): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Барнаул: Изд-во Алтай. ун-та, 2015. — 19 с.
7. Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса. — М.: Лесная пром-сть, 1977. — 96 с.
8. Дыренков С.А. Изменение лесных биогеоценозов под влиянием рекреационных нагрузок и возможности их регулирования // Рекреационное лесопользование в СССР. — М.: Наука, 1983. — С. 20–35.
9. Бганцова В.А., Бганцов В.Н., Соколов А.А. Влияние рекреационного лесопользования на почву // Природные аспекты рекреационного использования лесов. — М.: Наука, 1987. — С. 70–95.
10. Марфенин О.Е. Влияние нормированных рекреационных нагрузок на свойства бурых лесных почв // Вестн. Моск. ун-та Сер. 17. Почвоведение. — 1984. — № 3. — С. 52–58.

11. **Соколов Л.А.** Изменение физических свойств почв и роста насаждений под влиянием рекреационных нагрузок в парках и лесопарках Подмосковья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. — 27 с.
12. **Временная** методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок. — М.: Госкомлесхоз, 1987. — 34 с.
13. **Frissell S.S.** Judging recreation impacts on wilderness campsites // Journ. of Forestry. — 1978. — N 76. — P. 481–483.
14. **Parsons D.J., MacLeod S.A.** Measuring impacts of wilderness use // PARKS. — 1980. — Vol. 5, N 3. — P. 8–12.
15. **Cole D.N.** Wilderness Campsite Monitoring Methods: A Sourcebook. — Ogden, UT, 1989. — 60 p. [Электронный ресурс]. — <http://leopard.wilderness.net/pubs/179.pdf>. (дата обращения 02.05.2013).
16. **Foti P.E., Divine A.K., Lynch J.D., Carley T.** Grand Canyon National Park — Rapid Site Inventory of Backcountry Campsites, 2004–2006 DRAFT [Электронный ресурс]. — http://www.nps.gov/grca/parkmgmt/upload/GRCA_RapidSiteInventorySummary.pdf (дата обращения 22.05.2013).
17. **Собчак Р.О., Афанасьева Т.Г., Копылов М.А.** Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуорцирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth // Вестн. Том. ун-та. — 2013. — № 368. — С. 195–199.
18. **Карасев В.Н.** Эколого-физиологическая диагностика хвойных пород разного состояния: на примере *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* (L.) Karst: Автореф. дис. ... д-ра сельхоз. наук: — Йошкар-Ола: Изд-во Марийск. техн. ун-та, 2000. — 47 с.
19. **Павлова К.С., Робертус Ю.В.** Методические подходы к оценке экологического состояния природных комплексов рекреационных территорий // Проблемы региональной экологии. — 2014. — № 5. — С. 54–59.
20. **Робертус Ю.В., Любимов Р.В., Кивацкая А.В., Савенко К.С., Ситникова В.А.** Возможные подходы к оценке состояния почв рекреационных территорий (на примере Катунского района) // Природные ресурсы Горного Алтая. — 2017. — № 1–2. — С. 63–65.
21. **Методические** рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. Письмо Комитета РФ по земельным ресурсам и землеустройству от 27.03.1995 № 3-15/582 [Электронный ресурс]. — <http://open.lexpro.ru/document/108858#1> (дата обращения 19.08.2013).
22. **РД 52.24.643-2002.** Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. — М.: Росгидромет, 2002. — 50 с.

Поступила в редакцию 13.01.2020

После доработки 15.07.2020

Принята к публикации 25.12.2020