



УДК 631.111.3
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.63>

Оценка земель агрохозяйственных зон Томской области по результатам моделирования ступеней увлажнения

С. Г. Копысов, А. О. Елисеев, А. Г. Дюкарев*

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

Аннотация. Целью работы является разработка и верификация метода оценки качества земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней Л. Г. Раменского. За наиболее пригодные для агроиндустриального использования приняты земли со ступенями увлажнения в диапазоне 55–70. Для агрохозяйственных зон Томской области по описанной методике был произведен расчет ступеней увлажнения. Сравнение оценок пригодности земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней увлажнения с ранее полученными для агрохозяйственных зон Томской области показало хорошую сходимость для 8 зон из 10. Это позволяет рассматривать предлагаемый метод оценки качества земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней увлажнения Л. Г. Раменского в качестве рабочего инструмента для оптимизации землеустройства. Полученные оценки качества земельных ресурсов подтверждают, что площади качественных земельных ресурсов в Томской области весьма ограничены и необходимо предпринимать соответствующие усилия для их сохранения. В частности, оправдан перевод наименее продуктивной пашни в сенокосы, а труднодоступных неиспользуемых сельскохозяйственных земель в земли лесного фонда с лесопосадками ценных пород деревьев.

Ключевые слова: оптимизация землепользования, ступени увлажнения, сельское хозяйство, геоморфометрия.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы «Динамические и эволюционные процессы в природных экосистемах Сибири: индикаторы, мониторинг, прогноз» (№ FWRG-2021-0003).

Для цитирования: Копысов С. Г., Елисеев А. О., Дюкарев А. Г. Оценка земель агрохозяйственных зон Томской области по результатам моделирования ступеней увлажнения // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 63–76. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.63>

Original article

Assessment of the Lands of Agricultural Zones of the Tomsk Region Based on the Results of Modeling the Moisture Scale

S. G. Kopysov, A. O. Eliseev, A. G. Dyukarev*

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russian Federation

Abstract. The scientific novelty of the relevance of this study is caused by the fact that for the effective development and use of space, an integral criterion is needed, calculated on the basis of spatially distributed data, characterizing the local hydrological and climatic conditions of growth, formed under the

influence of landscape conditions. The aim of the work is to develop and verify a method for assessing the quality of land based on the results of hydrological and climatic modeling of the stages of humidification by L. G. Ramensky. The lands with moisture scale 55-70 were accepted as the most suitable for agroindustrial use. The studied territory, even within the same agricultural zone, is very heterogeneous, with a mosaic distribution of moisture levels. Unfavorable technological properties of land – high waterlogging, small-contour fields increase the cost of their processing, making agriculture in modern conditions low-profitable. For agricultural zones of the Tomsk region, according to the described method, the calculation of moisture scale was performed. A comparison of the estimates of land suitability based on the results of hydrological and climatic modeling of moisture scale with those previously obtained for agricultural zones of the Tomsk region showed good convergence for 8 zones out of 10. This allows us to consider the calculation of L. G. Ramensky's moisture scale as a working tool for optimizing land management. It should be noted that the use of the SRTM-height matrix, due to its inherent disadvantages, does not allow performing a fully adequate on-farm land assessment. It is necessary to use better digital terrain models. The received assessments of the quality of land resources confirm that high-quality land resources in the Tomsk region are very limited and appropriate efforts should be made to preserve them. In particular, the least productive arable land should be transferred to hayfields, and distant unused agricultural land to forest plantations with valuable tree species.

Keywords: land use, agriculture, sowing area, cartographic method, moisture scale, geomorphometry.

For citation: Kopysov S.G, Eliseev A.O., Dyukarev A.G. Assessment of the Lands of Agricultural Zones of the Tomsk Region Based on the Results of Modeling the Moisture Scale. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 41, pp. 63-76. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.63> (in Russian)

Введение

Рациональное землепользование занимает центральное место в решении вопросов устойчивого развития, включая вопросы сохранения биоразнообразия, климатических изменений, продовольственной безопасности, возобновляемой энергетики, борьбы с бедностью и т. д. [Ten facts about ... , 2022].

Россия является самой большой страной мира, однако основная часть ее территории расположена в неблагоприятных для земледелия климатических условиях с почвами, требующими серьезных и дорогостоящих мелиоративных воздействий, неспособных окупиться ввиду дефицита ресурсов тепла. Именно это, а не характер социально-исторического развития территории определяет незначительную сельскохозяйственную эксплуатацию общего земельного фонда Сибири [Панин, Ковалев, 1976]. Для более эффективного использования естественного плодородия биосферы еще в процессе крестьянского освоения Сибири возникла необходимость выявления и количественного учета пригодных земель. А. П. Выдрин писал: «Для того, чтобы отвоевать от дикой природы хотя бы самый незначительный клочок земной поверхности, необходима затрата энергии – энергии духовной и физической, и необходимо, чтобы эта затрата была вознаграждена и, притом, не меньше, чем в других местностях, а даже больше. Если этого не будет, то колонизация данной местности является экономическим абсурдом» [Выдрин, 1918, с. 9].

Однако в общественном мировом сознании бытует миф о бескрайних просторах благодатных земель в Сибири, которые русские не могут использовать надлежащим образом. В связи с этим необходимо напомнить, что еще во времена столыпинского переселения вдруг выяснилось, что площадей удобных земель, пригодных для земледелия, в Сибири недостаточно, чтобы обеспечить земельными наделами всех желающих. Для дальнейшей подготовки

переселенческих участков требовались значительные вложения в мелиоративные работы [Выдрин, 1918; Дорофеев, Семиколенов, 2012].

В настоящее время в Томской области значительная часть земель брошена и зарастает лесом. Во многом это обусловлено высокими рисками земледелия, определяемыми неустойчивостью погодных условий, недостатком термических ресурсов, неблагоприятными технологическими условиями для интенсификации сельскохозяйственного труда, общей низкой продуктивностью земель, неблагоприятными социально-экономическими условиями, но главное – отмиранием крестьянского менталитета как неконкурентоспособного по сравнению с социально-паразитическим образом жизни, распространившимся в эпоху энергетического изобилия.

В современный период для сельскохозяйственной части Томской области, так же как и для Центральной России [Нефедова, Медведев, 2020], характерно сжатие освоенного пространства и преобразование крупноареальной системы расселения и землепользования в более очаговую. В результате отмечается постепенное восстановление типичных природных экосистем на месте заброшенных сельскохозяйственных угодий.

По оценке [Global land use ... , 2021], в мире проявляются разнонаправленные изменения в структуре землепользования: с одной стороны, лесонасаждение и отказ от пахотных земель на Глобальном Севере, а с другой – обезлесение и расширение сельского хозяйства на Юге. Так, в Северной Америке с 1960 г. заброшено 9 % сельхозугодий, а в Западной Европе – 16 %. В указанной работе отмечается, что изменения в землепользовании можно объяснить влиянием глобальной торговли на сельскохозяйственное производство.

Для введения в оборот заброшенных земель требуются значительные ресурсы и средства, которых сейчас нет и не будет даже в долгосрочной перспективе. Актуален сам вопрос целесообразности этого, так как в соответствии с парадигмой развития сельскохозяйственного природопользования [Кирюшин, 2021] при конструировании оптимальных агроэкосистем следует опираться на природообусловленную оценку земель и достигнутую эффективность их использования.

Также необходимо учитывать, что рекультивация старых заброшенных земель будет связана с высокими показателями выбросов углерода и приведет к тому, что значительное количество углерода не будет улавливаться в формациях растительности, которые в настоящее время развиваются на неиспользуемых пахотных землях [Post-Sovietcropland abandonment ... , 2013].

В 60–80-е гг. прошлого века в Томской области велись активные работы по комплексной бонитировке почв [Тюменцев, 1961; Бонитировка почв ... , 1982]. Это было связано с возросшим пониманием того, что для планирования урожая нужно исходить из возможностей природных факторов – качества почв, количества теплоэнергетических ресурсов климата и их соразмерности с влагообеспеченностью территории.

В принципе, уже достаточно давно разработаны и широко используются общероссийские бонитировочные шкалы почв для зерновых и других культур по природно-сельскохозяйственным зонам с присущими им методическими

недостатками. Для устранения этих недостатков В. И. Кирюшин [2020] предлагает методику создания регистров продуктивности агроэкологических видов земель и регистров показателей экономической эффективности их использования при экстенсивных, нормальных и интенсивных агротехнологиях. Однако такой подход неприменим для оценки неиспользуемых земель в частности и географических прогнозов в целом.

Актуальность нашего исследования обусловлена тем, что для эффективного освоения и использования пространства нужен емкий интегральный критерий, вычисляемый на основе пространственно распределенных данных, характеризующих местные гидролого-климатические условия произрастания растительности, формирующиеся под влиянием ландшафтных особенностей. Такой критерий должен позволять давать географические прогнозы и служить инструментом для конструирования оптимальных агроэкосистем.

Целью нашей работы является разработка и проверка метода оценки качества земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней увлажнения Л. Г. Раменского, выступающих в качестве критерия оценки земель. Для достижения цели было выполнено моделирование ступеней увлажнения для десяти агрохозяйственных зон Томской области и произведено сравнение оценок пригодности земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней увлажнения с ранее полученными данными для агрохозяйственных зон Томской области.

Материалы и методы

Растительность чутко реагирует на изменения экологических факторов, т. е. особенности гидролого-климатического режима местоположения находят свое отражение в произрастающей растительности. Поэтому идея оценки качества земель по геоботаническим описаниям вполне естественна и давно реализуема. Однако в начале XX в. переселенческим управлениям, занимавшимся подготовкой земельных наделов, не всегда удавалось эффективно использовать полевые материалы геоботаников [Выдрин, 1918], но уже в 30-х гг. XX в. геоботанический подход получил должное развитие в работах Л. Г. Раменского [1971], предложившего в рамках прикладных геоботанических исследований сенокосов и пастбищ классификацию местоположений в зависимости от влияющих факторов.

В настоящее время для оценки экологических особенностей местообитаний растений используются экологические шкалы: а) Д. Н. Цыганова (содержат только 23 ступени увлажнения); б) Э. Ландольта [Landolt, 1977], разработанные для растений флоры Швейцарии и содержащие 5 ступеней увлажнения; в) Г. Элленберга [Ellenberg, 1974] (разработаны для Средней Европы и содержат 15 ступеней увлажнения).

Экологические шкалы используются исключительно в среде ботаников и в явном виде не пригодны для моделирования гидролого-климатического режима местообитаний. Однако в качестве интегрального критерия, характеризующего местные гидролого-климатические условия произрастания, форми-

рующиеся под влиянием ландшафтных условий, можно успешно использовать ступени увлажнения экологической шкалы Л. Г. Раменского [Korysov, Chernova, Klimova, 2018].

Гидрологам известна математическая модель В. С. Мезенцева – метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), описывающий преобразование влаги и тепловых ресурсов в тесной связи друг с другом и во взаимосвязи с почвенным покровом [Мезенцев, Карнацевич, 1969]. Метод ГКР имеет небольшое число параметров и позволяет выполнять расчет текущих водно-тепловых балансов с заданным интервалом дискретности. Также доказано [New analytical ... , 2008], что уравнение В. С. Мезенцева является наиболее точным аналитическим решением уравнения водно-теплового баланса за средний многолетний период.

Достижение заявленной нами цели было бы невозможно, если бы не удалось связать ступени увлажнения экологической шкалы Л. Г. Раменского с методом гидролого-климатических расчетов В. С. Мезенцева. В основе связующего уравнения лежит относительная влажность разрыва капилляров (V_{PK}) деятельного слоя почвы [Мезенцев, Карнацевич, 1969], отражающая доступность влаги растениям при оптимальном сочетании тепла и влаги:

$$V_{PK} = \left(\frac{r - 1}{nr + 1} \right)^{1/m}, \quad (1)$$

где r – параметр водно-физических свойств; n – параметр ландшафтных условий стока.

Параметр водно-физических свойств характеризует способность почвогрунтов подводить влагу к испаряющей поверхности и расходовать ее на испарение, он зависит от механического состава и засоленности деятельного слоя. Для определения параметра водно-физических свойств использовалась карта почвообразующих пород Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР) [2014]. Данные ЕГРПР доступны в растровом виде, что облегчает процесс их обработки в геоинформационных системах (ГИС). Для перевода исходных значений растра почвообразующих пород в значение параметра r нами был принят алгоритм, приведенный ниже (табл. 1). В процессе накопления и разложения органического опада образуются органогенные горизонты, нивелирующие различия в значениях параметра r от механического состава, благодаря этому для оценочных расчетов можно использовать среднее значение параметра $r \approx 1,9-2,0$.

Таблица 1

Реклассификация (Reclassify Grid Values) исходных значений (ID) растра почвообразующих пород в значение параметра r

Почвообразующая порода	Пески	Супеси	Легкий суглинок	Средний суглинок	Тяжелый суглинок	Глина
ID классификатора	13; 23; 24; 25; 28; 30	21;10	7	4;20	1	16
Значение параметра r	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0

Водный баланс местообитаний может существенно изменяться в зависимости и от условий стекания. Параметр ландшафтных условий стока является интегральной гидрографической характеристикой, позволяющей выполнять ландшафтно-экологическое моделирование условий произрастания.

Параметр ландшафтных условий стока при наличии данных цифровой модели рельефа в виде матрицы высот с разрешением 3" можно рассчитать по [Korysov, Chernova, Klimova, 2018]:

$$n = 1,1 + \frac{W_T}{6,1}. \quad (2)$$

Для матрицы высот с разрешением 1"

$$n = 1,1 + \frac{W_T}{4,8}, \quad (3)$$

где W_T – индекс потенциальной влажности (Wetness Index), определяется автоматически на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) – SRTM с соответствующим пространственным разрешением в общедоступной ГИС SAGA [System for Automated ... , 2019].

К сожалению, все ЦМР содержат ошибки, влияющие на полученные из них геоморфометрические атрибуты, что имеет большое значение для равнинных территорий, особенно чувствительных к таким ошибкам. В настоящее время не существует простых решений и методов устранения большинства ошибок и неопределенностей в ЦМР и производных атрибутах. Более того, методы, которые работают для одного типа ЦМР и ландшафта, могут не работать для других [Hamilton, Venton, 2010.].

Для характеристики гидролого-климатических условий произрастания, отражающих наиболее вероятные типы растительности и соответствующее им качество земель, ранее по результатам комплексных экологических исследований [Korysov, Chernova, Klimova 2018] была предложена зависимость для расчета ступеней увлажнения (СУ), выступающих в качестве косвенного критерия оценки земель:

$$СУ = 100 \cdot \beta_H \cdot V_{PK} = 100 \cdot \frac{X}{Z_M} \cdot \left(\frac{r-1}{nr+1} \right)^{lrm}. \quad (4)$$

Здесь 100 – это число ступеней увлажнения в экологической шкале Л. Г. Раменского (изначально 10 классов по 10 ступеней, где 0 – класс пустынного увлажнения; а 9 – класс водной растительности); несоответствие фактической увлажненности оптимальной увлажненности учитывается коэффициентом увлажнения β_H , который за многолетний период определялся отношением осадков X (мм/год) к водному эквиваленту теплоэнергетических ресурсов испарения Z_M (мм/год).

Водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов испарения Z_M за год рассчитывался по следующей формуле [Возобновляемые ресурсы тепловлагодобеспеченности ... , 2007]:

$$Z_M = 5,88 \cdot \sum t_{>0^\circ} + 260, \quad (5)$$

где $\sum t_{>0^{\circ}}$ – сумма среднемесячных положительных температур воздуха за год, $^{\circ}\text{C}$.

Все расчеты производились по цифровым моделям на основе цифровой модели рельефа SRTM [The shuttle radar ... , 2000] с пространственным разрешением рельефа 1" в калькуляторе растров в ГИС SAGA. Исходные данные (осадки, температура) были взяты из реанализа WorldClim 2 [Fick, Hijmans, 2017], где они представлены в виде растров средних месячных значений, осредненных за период 1970–2000 гг.

Результаты

Для верификации предлагаемого метода оценки качества земель было выполнено сравнение оценок пригодности земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней увлажнения с ранее опубликованными [Дюкарев, 2018] и принятыми за контроль данными. Сравнение выполнялось для десяти агрохозяйственных зон Томской области, выделенных традиционными методами на основе качества земельных ресурсов с учетом климатических и других природных факторов. Название выделенных зон (табл. 2) условное, так как их границы проведены с учетом почвенно-географического районирования, а не по административным границам районов.

Таблица 2

Характеристика агрохозяйственных зон

Агрохозяйственная зона [Дюкарев, 2018]		Бонитет почв, балл [Дюкарев, 2018]	Распределение СУ, % от площади			Сельскохозяйственная пригодность, % от площади		X, мм/год	$\sum t_{>10^{\circ}}$, $^{\circ}\text{C}$
			55–63	64–70	71–76	Контроль [Дюкарев, 2018]	По СУ в диапазоне 55–70		
I	Кожевниковская	85–90	9,4	42,2	30,2	54	51,6	472	1920
II	Зырянская	80–85	1,9	36,2	43,0	35	38,1	475	1824
III	Ювалинская	80–85	0,5	37,9	34,9	38	38,4	472	1857
IV	Томская	75–80	2,4	18,5	40,2	45	20,9	526	1871
V	Томь-Яйская	60–70	0,0	6,9	35,9	28	6,9	535	1729
VI	Асиновская	70–75	2,5	26,9	43,4	28	29,4	482	1820
VII	Володинская	70–75	0,5	17,7	41,5	26	18,2	490	1850
VIII	Кривошеинская	65–70	1,8	18,0	44,7	22	19,8	486	1807
IX	Чаинская	45–50	0,8	6,6	37,9	9	7,4	496	1726
X	Бакчарская	50–60	0,2	12,4	34,4	8	12,6	476	1746

В соответствии с сельскохозяйственным районированием [Шашко, 1967] на территории южнотаежной зоны Западной Сибири, к которой относятся большинство выделенных агрохозяйственных зон, следует развивать животноводческое и нетоварное полевое хозяйства. Считается, что на большей части исследуемой территории суммы температур позволяют возделывать ранние сорта озимой ржи, овса и ячменя, однако это нецелесообразно из-за низких урожаев и очень высокой себестоимости продукции [Выделение агроклиматических ареалов ... , 2016]. Примечательно, что по данным реанализа за 1970–2000 гг. сумма средних суточных температур выше 10°C $\sum t_{>10^{\circ}}$

(см. табл. 2) возросла на 5 % по сравнению с более ранними данными [Рутковская, 1984]. Количество выпавших осадков также возросло на 5–10 %. Это говорит об улучшении термических условий произрастания, что в отдельные годы способствует повышению урожайности зерновых.

На исследуемой территории наиболее продуктивными являются земли со степенями увлажнения (СУ) от 55 до 63 (увлажнение сухих и свежих лугов и лесов), что соответствует дренированным местообитаниям лесной зоны. Степени увлажнения от 64 до 76 соответствуют характерному для южной тайги влажнолуговому увлажнению с неоглееными и слабооглееными почвами. При влажнолуговом увлажнении на лугах преобладают лучшие луговые злаки и клевера. Полевые культуры на этих землях в отдельные годы могут страдать от избытка влаги, а использование тяжелой техники затруднено и может приводить к ускоренной гидроморфной трансформации почв. Земли, где СУ более 76, в основном приходится на низкобонитетные переувлажненные и заболоченные леса, болота и водные объекты, т. е. требуют проведения не только мелиоративных работ с целью их осушки, но и культуртехнических мероприятий. В целях борьбы с мелкоконтурностью полей часть земель с СУ > 76 также используется для нужд земледелия.

Современное агроиндустриальное сельское хозяйство базируется на использовании мощной тяжелой техники. В годы с избыточным увлажнением такая техника значительно переуплотняет почвенный покров, что приводит к утрате ее естественного плодородия. Поэтому наиболее пригодными для освоения будем считать земли со степенями увлажнения от 55 до 63 (увлажнение сухих и свежих лугов и лесов) и со степенями увлажнения 64–70 (наиболее сухие земли из диапазона влажнолугового увлажнения) как наиболее выгодные для агроиндустриального использования. Более влажные земли из диапазона влажнолугового увлажнения (СУ от 71 до 76) вполне пригодны для сельскохозяйственного использования, но хозяйства на этих землях, при прочих равных условиях, окажутся неконкурентоспособными, так как вынуждены будут использовать менее производительную технику. Наглядно распределение земель агрохозяйственных зон (в %) по степеням увлажнения приведено на диаграмме (рис. 1).

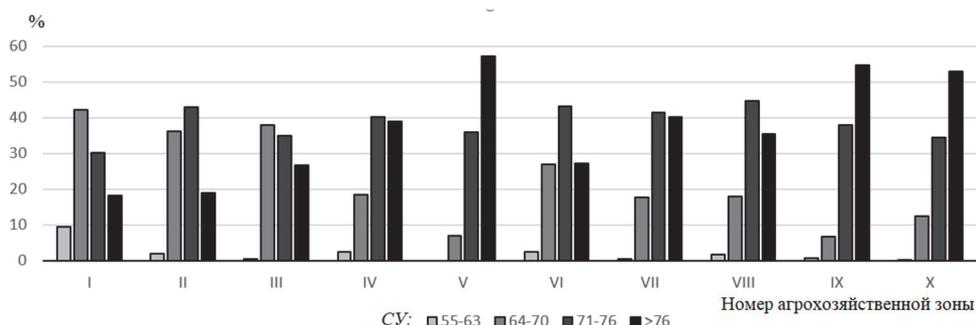


Рис. 1. Распределение земель агрохозяйственных зон (в %) по степеням увлажнения

На территории Томской области наиболее благоприятными для земледелия являются I (Кожевниковская) агрохозяйственная зона, с преобладанием наиболее высокопродуктивных почв; II зона, в которую входит дренированная р. Кией часть Зырянского района; III зона в западной части Кожевниковского района, отличающаяся высокой нестабильностью урожайности и более пригодная для выращивания кормовых культур. Для этих трех зон полученные оценки пригодности земель почти идентичны контрольным (см. табл. 2 и рис. 2).

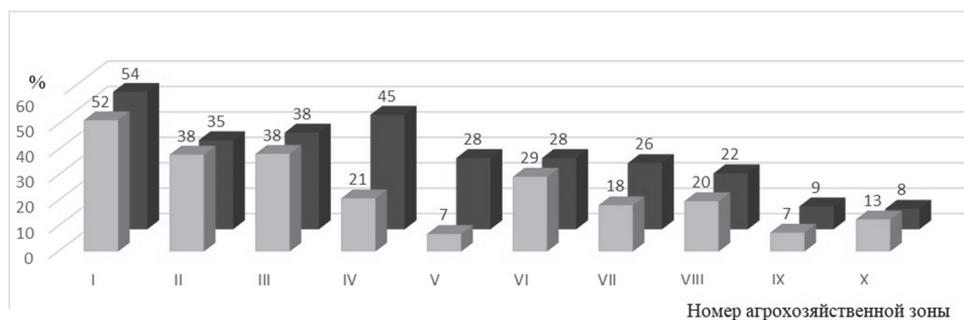


Рис. 2. Сравнение пригодности (%) земель агрохозяйственных зон Томской области для аграрного использования по результатам моделирования ступеней увлажнения (СУ 55–70) – светлые столбцы и по данным агрохозяйственного районирования [Дюкарев, 2018] – темные столбцы

Томская IV зона весьма неоднородна по почвенному покрову. В восточной, приподнятой части (правобережье Томи) плодородие почв существенно ниже. В IV зоне пригодность земель для земледелия оценивалась в 45 % (контроль), а по ступеням увлажнения только в 20,9 %. Если вычесть эрозионно опасные склоны, то еще меньше – 18,5 %. Такое значительное несоответствие объясняется близостью большого города, что позволяло использовать для нужд сельского хозяйства далеко не лучшие земли. Также на пойме р. Томи были проведены мелиоративные работы, но используемая нами матрица рельефа не позволяет выделять осушенные земли.

Территория Томь-Яйского междуречья (V) отличается высокой залесенностью и расцеченностью логами, что значительно осложняет освоение. Поэтому, хотя в пригородах исторически использовались малопродуктивные земли, но для этой агрохозяйственной зоны реальная пригодность земель для земледелия оценивалась всего в 28 % (контроль). Пригодность земель этой зоны, оцененная по ступеням увлажнения, в четыре раза меньше – всего 6,9 %. Это объясняет, почему здесь, несмотря на близость к городу, преобладают зарастающие лесом поля, часть из которых используется в качестве сенокосов. Для этой территории можно рекомендовать перевод наименее продуктивной пашни в сенокосы, а труднодоступных неиспользуемых сельскохозяйственных земель – в земли лесного фонда с лесопосадками ценных пород деревьев (желательно кедра) под пологом естественного возобновления, состоящего

преимущественно из березового и осинового подроста. Это особенно актуально ввиду необратимой деградации пригородных кедровников, восстановление которых возможно только после длительного сукцессионного цикла.

Условия Асиновской, Володинской и Кривошеинской зон (VI, VII, VIII) в дренированной части благоприятны для земледелия, хотя плодородие серых оподзоленных почв невысокое. Для этих зон реальная пригодность земель для земледелия почти точно совпадает с вычисленной по ступеням увлажнения, за исключением Володинской зоны, где проводились значительные работы по осушению пойменных земель, но без ожидаемого результата.

Чаинская и Бакчарская зоны (IX, X) в связи с высокой заболоченностью ($SU_{>76}$ 53–55 %) относят к территориям очагового земледелия. Здесь перспективны исключительно животноводство и земледелие, ориентированное на производство кормов. Пригодны для земледелия здесь только небольшие дренированные участки вдоль рек. Бакчарская зона отличается высокой нестабильностью увлажнения и, соответственно, сложностью проведения весенних и осенних полевых работ. Здесь требуется проведение комплексных работ по расчистке гидрографической сети с целью обеспечения устойчивого сброса избыточных вод с прилегающих земель. Практически все поля к настоящему времени заброшены. В контроле пригодность земель для земледелия оценивалась в 9 и 8 % соответственно, а по ступеням увлажнения – 7 и 13 %. Поля в этих зонах по определению мелконтурные, а незначительные перепады рельефа сопоставимы с погрешностью используемой матрицы рельефа.

Все агрохозяйственные зоны оказались весьма неоднородными и мозаичными по распределению ступеней увлажнения. Если в дренированной части, как правило, возможно всестороннее земледельческое использование обширных площадей, то центральные части водораздела, даже в Кожевниковской зоне, переувлажнены. Неблагоприятные технологические свойства почв из-за высокой заболоченности, а также вынужденная мелкоконтурность полей повышают затраты на их обработку, делая земледелие в современных условиях низкорентабельным.

Заключение

Хорошая сходимость (для 8 зон из 10) оценки сельскохозяйственной пригодности земель по результатам моделирования ступеней увлажнения с данными ранее проведенного агрохозяйственного зонирования территории дает возможность рассматривать предлагаемый метод оценки качества земель по результатам гидролого-климатического моделирования ступеней увлажнения Л. Г. Раменского в качестве рабочего инструмента для оптимизации землеустройства на уровне хозяйств. Следует заметить, что использование SRTM-матрицы высот из-за присущих ей недостатков не позволяет выполнять полностью адекватную внутривозрастную оценку земель. Необходимо использовать более качественную топооснову.

В целом полученные нами оценки качества земельных ресурсов подтверждают, что безграничное богатство Сибири земельными ресурсами – это обы-

вательский миф, опровергнутый опытным путем еще результатами столыпинского переселения. Поэтому сейчас основная задача видится в поддержании хотя бы текущего уровня сельскохозяйственного освоения территории с возможностью его расширения до природообусловленного уровня.

Последнее предполагает перевод наименее продуктивной пашни в сенокосы, а труднодоступных неиспользуемых сельскохозяйственных земель в земли лесного фонда с лесопосадками ценных пород деревьев.

Список литературы

- Бонитировка почв на генетико-производственной основе / В. А. Хмелев, Н. Ф. Тюменцев, А. В. Гончаренко, В. И. Щербинин. Новосибирск : Наука, 1982. 213 с.
- Возобновляемые ресурсы тепловлагообеспеченности Западно-Сибирской равнины и динамика их характеристик / И. В. Карнацевич, О. В. Мезенцева, Ж. А. Тусупбеков, Г. Г. Бикбулатова. Омск : Изд-во Ом. аграр. ун-та, 2007. 268 с.
- Выделение агроклиматических ареалов для оптимального возделывания сельскохозяйственных культур в границах природно-сельскохозяйственного районирования территории России / Д. С. Булгаков, Д. И. Рухович., Е. А. Шишконокова, Е. В. Вильчевская // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1049–1060. <https://doi.org/10.1134/S1064229316070036>.
- Выдрин А. П.* Земельный фонд и колонизация Томской губернии. Томск. 1918. 33с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000393536> (дата обращения: 16.05.2022)
- Дорофеев М. В., Семиколонов М.В.* Влияние природно-географического фактора на переселение в Сибирь в годы столыпинской аграрной реформы // Вестник КемГУ. 2012. № 3 (51). С. 54–57.
- Дюкарев А. Г.* Агрохозяйственное зонирование Томской области на основе качества земельных ресурсов // Почвы в биосфере : сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН, 2018. С. 59–63.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 : монография. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2014. 768 с.
- Кирюшин В. И.* Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. 2020. № 7. С. 871–879. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20070060>
- Кирюшин В. И.* Развитие парадигмы сельскохозяйственного природопользования (к 175-летию В. В. Докучаева) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. Спец. вып. С. 5–26. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-D-5-26>
- Мезенцев В. С., Карнацевич И. В.* Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л. : Гидрометеиздат, 1969. 168 с.
- Нефедова Т. Г., Медведев А. А.* Сжатие освоенного пространства в Центральной России: динамика населения и использование земель в сельской местности // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84, № 5. С. 645–659. <https://doi.org/10.31857/S258755662005012X>
- Панин П. С., Ковалев Р. В.* Мелиоративный фонд земель Западной Сибири в пределах срединного региона // Природные ресурсы Сибири (исследования, преобразования, охрана). Новосибирск : Наука, 1976. С. 126–134.
- Раменский Л. Г.* Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избранные работы. Л. : Наука, 1971. 334 с.
- Рутковская Н. В.* География Томской области. Сезонно-агроклиматические ресурсы. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1984. 159 с.
- Тюменцев Н. Ф.* Краткие итоги бонитировки почв колхозов Томской области // Почвоведение. 1961. № 9. С. 67–78.
- Шашко Д. И.* Агроклиматическое районирование СССР. М. : Колос, 1967. 336 с.
- Ellenberg H.* 1974 Zieglerwerte der Gefaspflanzen Mitteleuropeas. Göttingen : Scripta geobotanica, 1974. Vol. 9. P. 197.
- Fick S. E., Hijmans R. J.* WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2017. Vol. 37. P. 4302–4315.
- Global land use changes are four times greater than previously estimated / K. Winkler [et al.] // Nature Communications. 2021. N 12 (2501). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

Hamilton R., Benton R. A review of predictive ecosystem mapping. RSAC-0121-RPT2. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Remote Sensing Applications Center, 2010. 18 p.

Kopysov S. G., Chernova N. A., Klimova N. V. Validation of vegetation type modeling at a local level using a moisture scale // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2018. Vol. 211, N 012032. P. 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012032>

Landolt E. 1977 Okologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Zurich : Veroff. Geobot. Inst. ETH, 1977. 208 p.

New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation / H. Yang, D. Yang, Z. Lei, F. Sun // Water Resource. 2008. N 44 (W03410). <https://doi.org/10.1029/2007WR006135>

Post-Sovietcropland abandonment and carbon sequestration in European Russia, Ukraine, and Belarus / F. Schierhorn [et al.] // Global Biogeochemical Cycles. 2013. N 27. P. 1175–1185. <https://doi.org/10.1002/2013GB004654>

System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (date of access: 15.11.2019)

Ten facts about land systems for sustainability / P. Meyfroidt [et al.] // PNAS. 2022. Vol. 119. N 7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109217118>

The shuttle radar topography mission / T. G. Farr, S. Hensley, E. Rodriguez, J. Martin, M. Korbick // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk, 2000. P. 361–363.

References

Khmelev V.A., Tyumentsev N.F., Goncharenko, A.V., Shcherbinin V.I. *Bonitirovka pochv na genetiko-proizvodstvennoy osnove* [Soil appraisal on genetic-production basis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982, 213 p. (in Russian).

Karnatsevich I.V., Mezentseva O.V., Tusupbekov G.A., Bikbulatova G.G. *Vozobnovlyaemye resursy teplovlagobespechennosti Zapadno-Sibirskoy ravniny i dinamika ikh kharakteristik* [Study of dynamics and mapping of elements of energy and water balance and characteristics of energy and water availability]. Omsk, Omsk State Agricultural University Press Publ., 2007, 268 p. (in Russian).

Bulgakov D.S., Rukhovich D.I., Shishkonakova E.A., Vilchevskaya E.V. Vydeleniye agroklimaticheskikh arealov dlya optimalnogo vozdeliyaniya selskokhozyaystvennykh kultur v granitsakh prirodno-selskokhozyaystvennogo rayonirovaniya territorii Rossii [Separation of Agroclimatic areas for optimal crop growing within the framework of the natural-agriculture zoning of Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2016, vol. 49, no. 9, pp. 1049-1060. <https://doi.org/10.1134/S1064229316070036>

Vydrin A. P. *Zemelnyy fond i kolonizaciya Tomskoj gubernii* [Land fund and colonization of the Tomsk province]. Tomsk, 1918, 33 p. Available at: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000393536> (date of access: 15.11.2019) (in Russian).

Dorofeev M. V., Semikolenov M. V. The influence of natural-geographic factor on resettlement in Siberia during Stolypin's agrarian reform. *Bulletin of Kemerovo State University*, 2012, no. 3(51), pp. 54-57. (in Russian).

Dyukarev A. G. Agricultural zoning of the Tomsk region on the basis of the quality of land resource. *Pochvy v biosfere: Sbornik materialov vserossiyskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 50-letiyu Instituta pochvovedeniya i agrohimii SO RAN*, Novosibirsk, Nacionalnyy issledovatel'skiy Tomskij gosudarstvennyy universitet Publ., 2018, pp. 59-63. (in Russian).

Edinyi gosudarstvennyy reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0 [Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0]. Moscow, Pochvennyi Inst. im. V.V. Dokuchaeva, Ross. Akad. Selskokhozyaystvennykh Nauk Publ., 2014, 768 p. (in Russian).

Kiryushin V.I. Developing the paradigm of environmental management in agriculture (to the 175-th anniversary of V.V. Dokuchaev). *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, Special Iss., pp. 5-26. <http://doi: 10.19047/0136-1694-2021-D-5-26> (in Russian)

Kiryushin V.I. Methodology for integrated assessment of agricultural land. *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, no. 7, pp. 960-967. <https://doi.org/10.1134/S1064229320070066>

Mezencev V.S., Karnacevich I.V. *Uvlazhnennost Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Wetness of West Siberian Plain]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973, 168 p. (in Russian).

Nefedova T.G., Medvedev A.A. Shrinkage of Active Space in Central Russia: Population Dynamics and Land Use in Countryside. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 5, pp. 645-659. <https://doi.org/10.31857/S258755662005012X> (in Russian)

Panin P.S., Kovalev R.V. Meliorativnyj fond zemel Zapadnoj Sibiri v predelakh sredinnogo regiona [Land meliorative fund of Western Siberia within the Middle region]. *Prirodnye resursy Sibiri (issledovaniya, preobrazovaniya, ohrana)*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976, pp. 126-134. (in Russian)

Ramensky L.G. *Problemy i metody izucheniya rastitelnogo pokrova. Izbrannye raboty* [Issues and methods of vegetation cover study]. Leningrad, Nauka Publ., 1971, 334 p. (in Russian)

Rutkovskaya N.V. *Geografiya Tomskoj oblasti. Sezonno-agroklimaticheskie resursy* [Geography of the Tomsk region. Seasonal agroclimatic resources]. Tomsk, Tomsk Univ. Publ., 1984, 159 p. (in Russian)

Tyumentsev N.F. Kratkie itogi bonitirovki pochv kolhozov Tomskoj oblasti [Summary of the results of soil assessment of collective farms of the Tomsk region]. *Pochvovedenie (Pedology)*. 1961, no. 9, pp.67-78. (in Russian).

Shashko D.I. Agroklimaticheskoe rajonirovanie SSSR [Agroclimatological zoning of the USSR]. Moscow, Kolos Publ., 1967, 336 p. (in Russian).

Ellenberg H. *Ziegerwerte der Gefasflanzen Mitteleuropeas*. Gottingen, Scripta geobotanica Publ., 1974, vol 9, 197 p. (in Germany).

Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 2017, vol. 37, pp. 4302–4315.

Winkler K., Fuchs R., Rounsevell M. et al. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*. 2021. no. 12, 2501. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

Hamilton R., Benton R. *A review of predictive ecosystem mapping*. RSAC-0121-RPT2. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center. 2010. 18 p.

Kopysov S.G., Chernova N.A., Klimova N.V. Validation of vegetation type modeling at a local level using a moisture scale. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 211, no. 012032, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012032>

Landolt E. *Okologische Zeigerwerte zur Sweizer Flora*. Zurich, Veroff. Geobot. Inst. ETH, 1977, 208 p. (in Switzerland).

Yang H., Yang D., Lei Z., Sun F. New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation. *Water Resource*, 2008, no. 44. W03410. <https://doi.org/10.1029/2007WR006135>

Schierhorn F., Muller D., Beringer T., Prishchepov A.V., Kuemmerle T., Balmann A. Post-Soviet cropland abandonment and carbon sequestration in European Russia, Ukraine, and Belarus. *Global Biogeochemical Cycles*, 2013, no. 27, pp. 1175–1185. <https://doi.org/10.1002/2013GB004654>

System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). Available at: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (date of access: 15.11.2019)

Meyfroidt P. et al. Ten facts about land systems for sustainability. *PNAS*. February 7, 2022, vol. 119 no.7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109217118>

Farr T.G., Hensley S., Rodriguez E., Martin J., Kobrick M. The shuttle radar topography mission. *CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999*. Noordwijk, 2000, pp. 361-363.

Сведения об авторах

Копысов Сергей Геннадьевич
кандидат географических наук
ведущий научный сотрудник
Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН
Россия, 634055, г. Томск,
просп. Академический, 10/3
e-mail: wosypok@mail.ru

Information about the authors

Kopysov Sergey Gennadevich
Candidate of Sciences (Geography),
Leading Research Scientist
Institute of Monitoring of Climatic and
Ecological Systems SB RAS
10/3, Akademicheskij av., Tomsk, 634055,
Russian Federation
e-mail: wosypok@mail.ru

Елисеев Артем Олегович*аспирант**Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН**Россия, 634055, г. Томск,**просп. Академический, 10/3**e-mail: kuzoller@gmail.com***Eliseev Artem Olegovich***Postgraduate**Institute of Monitoring of Climatic and
Ecological Systems SB RAS**10/3, Akademicheskij av., Tomsk, 634055,**Russian Federation**e-mail: kuzoller@gmail.com***Дюкарев Анатолий Григорьевич***доктор географических наук,**главный научный сотрудник**Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН**Россия, 634055, г. Томск,**просп. Академический, 10/3**e-mail: DAG@imces.ru***Dyukarev Anatoly Grigorevich***Doctor of Sciences (Geography),**Chief Research Scientist**Institute of Monitoring of Climatic and
Ecological Systems SB RAS**10/3, Akademicheskij av., Tomsk, 634055,**Russian Federation**e-mail: DAG@imces.ru***Код научной специальности:** 1.6.21Статья поступила в редакцию **16.06.2022**; одобрена после рецензирования **24.08.2022**; принята к публикации **12.09.2022**The article was submitted **June, 16, 2022**; approved after reviewing **August, 24, 2022**; accepted for publication **September, 12, 2022**